PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 12. 15. Juni 1904. 5. Jahrgang.

Redaktionsschluss für No. 13 am 22. Juni 1904.

INHALT.

(R. = Referat, B. = Besprechung.)

Seite

Atmosphärisches Potentialgefälle: Über die Ursache des normalen — — und der negativen Erdladung. Bemerkungen zu Prof. Eberts Theorie, v. G. C. Simpson 325
Bose, E., Über die chemische Wirkung der Kathodenstrahlen 329
Chemisch: Über die — Wirkung der Kathodenstrahlen, von E. Bose 329
Curie, P., Neuere Untersuchungen über Radioaktivität (Fortsetzung) 313
Detektor: Einige Beobachtungen am Schlömilch-Wellen- — für drahtlose Telegraphie, v. M. Reich 338
Doppelbrechung: Lamellare —, v. O. Wiener . . . 332
Drahtlose Telegraphie: Einige Beobachtungen am Schlömilch-Wellendetektor für —, v. M. Reich . . . 338
Ebert: Über die Ursache des normalen atmosphärischen Potentialgefälles und der negativen Erdladung. Bemerkungen zu Prof. — Theorie, v. G. C. Simpson 325
Elektrometer: Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des Messgebietes der Registrier- —. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der luftelektrischen Zerstreuung, v. A. Sprung 326
Elster, J. u. H. Geitel, Über Radioaktivität von Erdarten und Quellsedimenten 321
Erdarten: Über Radioaktivität von — und Quellsedimenten, v. J. Elster und H. Geitel 321
Erdladung: Über die Ursache des normalen atmosphärischen Potentialgefälles und der negativen —. Bemerkungen zu Prof. Eberts Theorie, v. G. C. Simpson 325
Geitel, H. u. J. Elster, Über Radioaktivität von Erdarten und Quellsedimenten 321
Gesuche 344
Kathodenstrahlen: Über die chemische Wirkung der —, v. E. Bose 329
Lamellare Doppelbrechung, v. O. Wiener 332
Luftelektrisch: Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des Messgebietes der Registrier-Elektrometer. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der — Zerstreuung, v. A. Sprung 326
Messgebiet: Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des — der Registrier-Elektrometer. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der luftelektrischen Zerstreuung, v. A. Sprung 326
Meyer, St. u. E. v. Schweidler, Über den Einfluss von Temperaturänderungen auf radioaktive Substanzen 319
Personalien 344

Seite

Potentialgefälle: Über die Ursache des normalen atmosphärischen — und der negativen Erdladung. Bemerkungen zu Prof. Eberts Theorie, v. G. C. Simpson 325
Quellsedimente: Über Radioaktivität von Erdarten und —, v. J. Elster und H. Geitel 321
Radioaktiv: Über den Einfluss von Temperaturänderungen auf — Substanzen, v. St. Meyer und E. v. Schweidler 319
Radioaktivität: Neuere Untersuchungen über — (Fortsetzung), v. P. Curie 313
— Über — von Erdarten und Quellsedimenten, v. J. Elster und H. Geitel 321
Registrier-Elektrometer: Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des Messgebietes der —. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der luftelektrischen Zerstreuung, v. A. Sprung 326
Reich, M., Einige Beobachtungen am Schlömilch-Wellendetektor für drahtlose Telegraphie 338
Schlömilch-Wellendetektor: Einige Beobachtungen am — für drahtlose Telegraphie, v. M. Reich . . . 338
Schweidler, E. v. u. St. Meyer, Über den Einfluss von Temperaturänderungen auf radioaktive Substanzen 319
Siemens & Halske: Der schnellwirkende Typendrucktelegraph von —. (R.) 340
Simpson, G. C., Über die Ursache des normalen atmosphärischen Potentialgefälles und der negativen Erdladung. Bemerkungen zu Prof. Eberts Theorie 325
Sprung, A., Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des Messgebietes der Registrier-Elektrometer. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der luftelektrischen Zerstreuung 326
Telegraphie: Einige Beobachtungen am Schlömilch-Wellendetektor für drahtlose —, v. M. Reich . . 338
Temperaturänderungen: Über den Einfluss von — auf radioaktive Substanzen, v. St. Meyer und E. v. Schweidler 319
Typendrucktelegraph: Der schnellwirkende — von Siemens & Halske. (R.) 340
Wellendetektor: Einige Beobachtungen am Schlömilch- — für drahtlose Telegraphie, v. M. Reich . . . 338
Wiener, O., Lamellare Doppelbrechung 332
Zerstreuung: Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des Messgebietes der Registrier-Elektrometer. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der luftelektrischen Zerstreuung, v. A. Sprung 326

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Neuere Untersuchungen über Radioaktivität.

Von P. Curie.

(Fortsetzung.)

IV. Über induzierte Radioaktivität und die radioaktiven Emanationen.

Induzierte Radioaktivität. — Radium, Thor und Aktinium haben die Eigenschaft, nach aussen noch anderweitig zu wirken als durch die von ihnen ausgesandten Becquerelstrahlen. Sie teilen allmählich den in ihrer Nachbarschaft befindlichen Körpern ihre radioaktiven Eigenschaften mit, und diese senden dann ihrerseits Becquerelstrahlen aus. Die Aktivität kann in dieser Weise auf Gase, Flüssigkeiten und feste Körper übertragen werden, und dies ist das Phänomen der induzierten Radioaktivität.

Die induzierte Radioaktivität breitet sich in Gasen durch eine Art Leitung weiter und weiter aus; sie ist keineswegs an die Einwirkung direkter Strahlung von den erregenden Körpern aus gebunden.

Entfernt man den aktivierten Körper von

dem radioaktiven, so bleibt die auf diesem Körper induzierte Radioaktivität eine gewisse Zeitlang weiter bestehen; sie nimmt indessen nach und nach ab und erlischt endlich ganz.

Emanation. — Zur Erklärung dieser Phänomene macht Herr Rutherford die Annahme, dass Radium oder Thor beständig ein materielles, radioaktives, unbeständiges Gas abgeben, welches er Emanation nennt. Die Emanation verbreitet sich in dem Gase, welches den radioaktiven Körper umgiebt; sie vernichtet sich selbst allmählich, indem sie Becquerelstrahlen aussendet und andere unbeständige radioaktive aterielle Körper hervorbringt, welche nicht flüchtig sind; diese neuen Materien setzen sich an der Oberfläche der festen Körper fest und machen sie radioaktiv.

Man kann, ohne die Hypothesen soweit zu präzisieren, den Namen Emanation annehmen zur Bezeichnung der radioaktiven Energie in der Form, welche sie annimmt bei ihrer Ausbreitung in dem die radioaktiven Körper umgebenden Gase; man kann des weiteren noch annehmen, dass diese Energie verschwindet, indem sie die Energie der induzierten Radioaktivität an festen Körpern erzeugt.

Durch Radium induzierte Radioaktivität und Radiumemanation. — Bringt man ein festes Radiumsalz in einen geschlossenen Raum, welcher mit Luft gefüllt ist, so werden die inneren Wände des Raumes und alle in demselben befindlichen festen Körper radioaktiv. Beispielsweise kann man in den Raum eine feste Platte irgend eines Körpers einführen, dieselbe eine gewisse Zeit hindurch darin belassen, sie dann herausnehmen und auf ihre Radioaktivität hin untersuchen. Man konstatiert dann, dass die Aktivität der Platte zunächst mit der Dauer ihres Aufenthaltes in dem Raume wächst, dass sie aber bei einem hinreichend langen Aufenthalt einen Grenzwert erreicht. Wenn die aktivierte Platte aus dem Raume entfernt wird, so verliert sie ihre Aktivität nach einem Exponentialgesetz; die Strahlung vermindert sich auf die Hälfte ihres Wertes in je einem Zeitraum von der Grössenordnung einer halben Stunde. Im allgemeinen aktivieren und entaktivieren sich unter gleichen Bedingungen alle festen Körper in derselben Weise.

Die Erscheinungen sind viel intensiver (ungefähr 20 mal), wenn man statt des festen Radiumsalzes eine Lösung desselben Salzes in einem offenen Gefässe in den Raum bringt.

Die Natur und der Druck des in dem Raume befindlichen Gases haben auf die beobachteten Erscheinungen keinen Einfluss.

Die in einem Raume induzierte Radioaktivität ist proportional der in demselben befindlichen Menge Radium.

Steht der Raum, welcher das Radium enthält, durch ein Rohr mit einem zweiten Raume in Verbindung, so werden in diesem befindliche feste Körper nach Verlauf einer genügenden Zeit gleichfalls aktiv. Die Übertragung der aktivierenden Eigenschaft von einem Raume zu einem andern kann sogar durch eine Kapillare erfolgen.

Wird das Gas, welches durch den Aufenthalt in einem Raume, welcher Radium enthielt, aktiviert worden ist, in einen anderen Raum gebracht, so behält es während einer ziemlich langen Zeit die Eigenschaft, feste Körper, welche mit ihm in Berührung gebracht werden, radioaktiv zu machen. Gas, welches auf diese Weise der Einwirkung des Radiums entzogen worden ist, verliert indessen allmählich seine aktivierende Eigenschaft; das Verschwinden derselben erfolgt nach einem Exponentialgesetz als Funktion der Zeit; sie verringert sich auf die Hälfte ihres Wertes in einer Periode von je vier Tagen.

Zur Erklärung dieser Erscheinung kann man annehmen, dass das Radium eine fortwährende und konstante Abgabe von radioaktiver Emanation vor sich gehen lässt; diese Emanation verbreitet sich in die Luft eines Raumes und wirkt auf die festen Körper ein, indem es dieselben aktiviert. Wenn die Luft in einen anderen Raum übergeführt wird, so wird mit ihr die Emanation mitgeführt; sie zerstört sich dann von selbst mit einer Geschwindigkeit von solcher Grösse, dass sie während einer Periode von je vier Tagen um die Hälfte abnimmt.

In einem Radium enthaltenden Raume stellt sich ein Gleichgewichtszustand her, wenn die Emanationsmenge in dem Raume eine solche ist, dass der von der spontanen Vernichtung herrührende Verlust an Emanation gerade den fortlaufenden Zuwachs an Emanation aufhebt, der seine Quelle im Radium hat.

Man kann folgenden Versuch anstellen: Der Glasrezipient A (Figur 2) ist mit Luft gefüllt

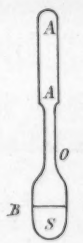


Fig. 2.

und steht durch die Verengung bei O in Verbindung mit dem Ballon B, welcher eine Radiumlösung S enthält. Nach Verlauf einer gewissen

Zeit hat sich die Emanation nach A ausgebreitet, und die inneren Wandungen dieses Rezipienten sind aktiviert. Man trennt den Rezipienten A vom Radium durch Abschmelzen bei O. Dann kann man die Strahlung des Rezipienten A nach aussen untersuchen, wenn man ihn in den inneren Cylinder eines Cylinderkondensators bringt (Figur 3). Dieser innere

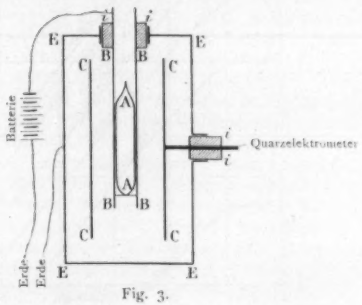


Fig. 3.

Cylinder $BBBB$ besteht aus Aluminium. Man bringt ihn auf ein Potential von 500 Volt. Der äussere Cylinder $CCCC$ des Kondensators besteht aus Kupfer; er steht in Verbindung mit einem Elektrometer und einem piezoelektrischen Quarz. Man misst mit Hilfe des Quarzes den Strom, welcher durch den Kondensator geht. Dieser Strom wird durch die Becquerelstrahlen hervorgerufen, welche aus dem Rohre A austreten, den Aluminiumcylinder B durchsetzen und die Luft zwischen den beiden Cylindern leitend machen. Der Apparat ist mit einer geerdeten metallischen Schutzhülle $EEEE$ umgeben.

Man stellt fest, dass die Strahlung des Rohres A mit der Zeit abnimmt nach einem strengen Exponentialgesetz von der Form

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_0 e^{-at}.$$

Hier ist $\mathcal{J}_0$ der Wert der Strahlung zu Beginn der Zeit, $\mathcal{J}$ der Strahlungswert im Moment t, und a ein konstanter Koeffizient $a = 2{,}01 \cdot 10^{-6}$, wenn man als Zeiteinheit die Sekunde nimmt. Die Strahlung sinkt um die Hälfte ihres Wertes n ungefähr vier Tagen.

In einem zweiten Versuch kann man das Rohr A wie früher aktivieren und dann entleeren in der Weise, dass man die in dem Rohr befindliche mit Emanation geladene Luft auspumpt. Unter diesen Umständen nimmt die Strahlung des Rezipienten A sehr viel rascher ab; diese Strahlung wird um die Hälfte schwächer in einem Zeitraum von der Grössenordnung einer halben Stunde. Dieses Gesetz der Entaktivierung ist dasselbe, nach welchem aktivierte Körper ihre Aktivität verlieren, wenn sie der freien Luft ausgesetzt sind. Das Resultat bleibt dasselbe, wenn man nach der Entleerung des Rezipienten A wieder inaktive Luft in denselben eintreten lässt.

Man wird also zu dem Schlusse geführt, dass bei dem ersten Versuch die Aktivität des Rezipienten A durch die mit Emanation geladene Luft unterhalten wird, welche in diesem Rezipienten enthalten ist, und dass das Gesetz der Strahlungsabnahme bei diesem Versuch ebensowohl das Gesetz des spontanen Verschwindens der Emanation darstellt.

Wenn man den Rezipienten A, welcher mit Emanation geladene Luft enthält, auspumpt und die Strahlung dieses Rezipienten unmittelbar vor und nach dem Auspumpen der Luft misst, so stellt man fest, dass diese Strahlung sich nicht geändert hat in dem Augenblick, wo man die aktive Luft entfernt hat. Die Becquerelstrahlung der mit Emanation geladenen Luft übt also bei diesem Versuch keine Wirkung aus. Diese Strahlung ist wahrscheinlich vorhanden, wird aber von sehr wenig durchdringungsfähigen Strahlen gebildet, welche die Glaswandung nicht zu durchsetzen vermögen. Man kann zu diesem Punkte folgenden Versuch anstellen: Das eine Ende des Metallrohres $AAAA$ (Figur 4) steht bei O durch ein Kautschukrohr

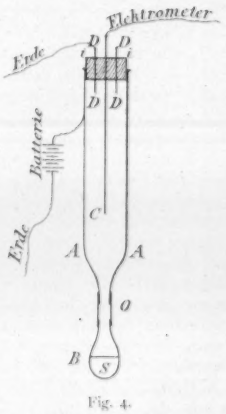


Fig. 4.

mit einem Rezipienten B in Verbindung, in welchem sich eine Radiumsalzlösung befindet. Das andere Ende des Rohres A ist durch einen isolierenden Stopfen i verschlossen; durch diesen Stopfen führt ein Metalldraht C, welcher mit dem Elektrometer verbunden ist. Das Rohr A und der Draht C bilden einen Cylinderkondensator; das Rohr A wird auf ein Potential von 500 Volt gebracht. Das zur Erde abgeleitete Metallrohr $DDDD$ dient als Schutzring. Wenn

das Rohr A genügend aktiviert ist, trennt man es von dem Radium und misst die Intensität des Stromes, welcher durch den Kondensator geht; dann vertreibt man schnell die aktive Luft, die den Kondensator erfüllt und lässt inaktive Luft dafür einströmen, worauf man sogleich eine neue Messung der Stromintensität ausführt. Man konstatiert, dass der Strom sechsmal schwächer geworden ist. Nun wirkt während der zweiten Messung nur allein die Strahlung der aktivierten Wände ionisierend auf die Luft im Kondensator, während bei der ersten Messung die Emanation gleichfalls wirksam ist; man kann also annehmen, dass sie gleichfalls eine Strahlung aussendet. Diese Strahlung ist notwendigerweise sehr wenig durchdringungsfähig, da sich ja ihre Wirkung nach aussen nicht bemerkbar macht.

Wenn eine feste Platte, welche durch Emanation aktiviert worden ist, sich in freier Luft entaktiviert, so hängt das Gesetz der Entaktivierung von der Zeit ab, während welcher die Platte mit der Emanation in Berührung gewesen ist. Hat die Einwirkung der Emanation lange gedauert (beispielsweise mehr als 24 Stunden), so wird das Gesetz der Entaktivierung durch die Differenz zweier Exponentialfunktionen wiedergegeben. Die Strahlungsintensität $\mathcal{J}$ kann in diesem Falle als Funktion der Zeit t ausgedrückt werden durch die Gleichung:

$$\mathcal{J} = \mathcal{J}_0 \left[K e^{-bt} - (K-1) e^{-ct} \right].$$

Hier ist $\mathcal{J}_0$ die Strahlungsintensität zu Beginn der Zeit, das heisst in dem Augenblick, in welchem die Platte der Einwirkung der Emanation entzogen wird; K, b und c sind drei konstante Koeffizienten:

$K = 4{,}2 \qquad b = 0{,}000413 \qquad C = 0{,}000538,$

als Zeiteinheit die Sekunde angenommen.

Diese Ergebnisse sind in Figur 5 durch die Kurve (1) wiedergegeben; hier sind die Logarithmen von $\mathcal{J}$ als Ordinaten und die Zeiten als Abszissen aufgetragen. Anderthalb Stunden nach Beginn der Entaktivierung ist die zweite Exponentialfunktion gegen die erste im Ausdruck für $\mathcal{J}$ so klein geworden, dass sie vernachlässigt werden kann, und die darstellende Kurve ist eine Gerade geworden. Von diesem Augenblick an nimmt die Aktivität während jeder Periode von 28 Minuten um die Hälfte ab.

Ist die Einwirkungsdauer der Emanation weniger lang gewesen, so ist das Gesetz der Strahlungsänderung während der Entaktivierung viel komplizierter. In Figur 5 sind die Ergebnisse von Versuchen für verschiedene Aktivierungszeiten dargestellt, wobei die Zeiten über den entsprechenden Kurven verzeichnet sind. Man sieht beispielsweise, dass für eine Aktivierungsdauer von 5 Minuten die Strahlungsintensität während der Entaktivierung anfänglich sehr schnell abfällt bis auf einen Minimal-

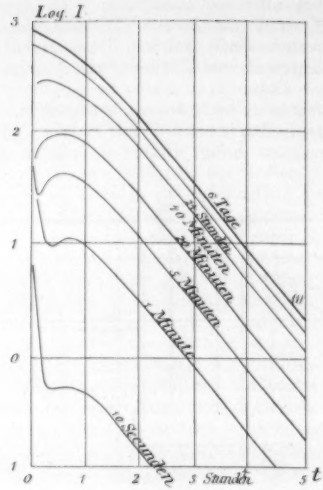


Fig. 5.

wert; darauf nimmt die Strahlung wieder zu, geht durch ein Maximum und beginnt von neuem abzunehmen; das Gesetz der Entaktivierung strebt endlich einer Exponentialfunktion zu, welche die gleiche ist wie für den Grenzfall nach lang andauernder Aktivierung. Man kann schliesslich diese komplizierten Erscheinungen durch die Annahme erklären, dass die radioaktive Energie auf der aktivierten Platte drei aufeinander folgende verschiedene Zustände annimmt; die Entwickelungen über diesen Gegenstand sind indessen zu lang, um in der vorliegenden Arbeit Raum zu finden.

Die Radiumemanation ruft in einer grossen Anzahl von Körpern lebhafte Phosphoreszenz hervor. Glasgefässe, welche emanationhaltige Luft enthalten, sind leuchtend; am empfindlichsten ist Thüringer Glas. Phosphoreszierende Zinkblende ist besonders empfindlich für die Wirkung der Radiumemanation und giebt alsdann ein intensives Licht.

In einem aktivierenden Raume werden feste Körper um so stärker aktiviert, je grösser der freie Gasraum vor ihnen ist. Werden in einem aktivierenden Raume untereinander parallele Platten in geringer Entfernung voneinander aufgestellt, so wird jede Oberfläche einer dieser Platten aktiviert proportional der Entfernung, welche sie von der gegenüberliegenden Oberfläche trennt. Wenn Glasröhren von verschiedenem Durchmesser mit Emanation gefüllt sind und untereinander in Verbindung stehen, so sind die Röhren mit dem grössten inneren Durchmesser gleichzeitig diejenigen, deren Wan-

dungen am stärksten radioaktiv sind; diese Röhren sind auch die am hellsten leuchtenden. Zur Erklärung dieser Thatsachen kann man annehmen, dass die emanationhaltige Luft auf die Wände durch eine Strahlung wirkt, welche in jedem Punkte der Gasmasse entsteht, und dass die auf einer Wand induzierte Radioaktivität proportional ist dem von dieser Wand aufgenommenen Strahlungsfluss.

Induzierte Aktivität mit langsamer Entwickelung. — Ein fester Körper nimmt eine sehr schwache dauernde induzierte Radioaktivität an, wenn er zum mindesten einen Monat lang mit Radiumemanation in Berührung gewesen ist. Ein Körper, welcher nach einem langen Aufenthalt in Berührung mit der Emanation aus einem aktivierenden Raume entfernt wird, verliert seine Aktivität zuerst schnell nach den Gesetzen, welche wir aufgestellt haben. Aber die strahlende Aktivität verschwindet nicht vollständig; es bleibt eine Strahlung zurück, welche mehrere tausendmal schwächer ist als die Anfangsstrahlung; diese Strahlung entwickelt sich mit äusserster Langsamkeit, sie fährt mehrere Jahre lang fort, sich zu bilden. (Die Strahlung geht durch ein Minimum, sie nimmt dann während mehrerer Monate langsam zu, bleibt dabei aber immer äusserst schwach.)

Okklusion der Radiumemanation durch feste Körper. — Alle durch Berührung mit Radiumemanation aktiv gewordenen festen Körper haben die Eigenschaft erworben, selbst in sehr geringer Menge diese Emanation auszusenden. Sie behalten diese Eigenschaft nur 20 Minuten lang von dem Zeitpunkt ab, wo man sie aus der aktivierenden Umgebung entfernt hat. Indessen haben gewisse feste Körper: Celluloid, Kautschuk, Paraffin, die Eigenschaft, Emanation zu okkludieren und alsdann mehrere Stunden und selbst mehrere Tage lang reichlich Emanation auszusenden.

Induzierte Radioaktivität von Flüssigkeiten. — Eine in eine durch Radium aktivierte Umgebung gebrachte Flüssigkeit wird radioaktiv. Man kann auf diese Weise Wasser, Salzlösungen, Petroleum usw. aktiv machen. Diese Flüssigkeiten lösen eine gewisse Menge Emanation. Wird eine aktivierte Flüssigkeit vom Radium entfernt und in eine luftdicht verschlossene Flasche eingeschlossen, so verliert sie langsam ihre Aktivität nach dem Gesetz der Zerstörung der Emanation (Verminderung auf die Hälfte in vier Tagen). Wenn die Flüssigkeit in ein Gefäss mit freiem Luftzutritt gebracht wird, so verliert sie ihre Aktivität sehr schnell und die Emanation verbreitet sich in die umgebende Luft.

Änderung der Aktivität von Radiumsalzlösungen und festen Radiumsalzen. — Eine Radiumsalzlösung, welche in einem offenen Gefäss der Zimmerluft ausgesetzt wird, wird fast inaktiv. Diese Lösung sendet Emanation aus, welche sich im Zimmer ausbreitet und an den Wänden induzierte Radioaktivität erzeugt. Die Radioaktivität des Radiums wird auf diese Weise exteriorisiert. Schliesst man die Lösung in eine zugeschmolzene Röhre ein, so nimmt ihre Aktivität allmählich zu und strebt einem Grenzwert zu, welcher erst fast nach Verlauf eines Monats erreicht wird. Man kann annehmen, dass die vom Radium erzeugte Emanation sich in der verschlossenen Röhre anhäuft, bis die Geschwindigkeit der spontanen Vernichtung dem vom Radium gelieferten Zuwachs gleichkommt.

Wir haben gesehen, dass ein frisch bereitetes festes Radiumsalz eine Aktivität besitzt, welche mit der Zeit wächst und 5mal grösser wird als die Anfangsaktivität. Man kann annehmen, dass die vom Radium ausgesandte Emanation nur schwer aus dem festen Körper austreten kann, dass sie sich daselbst ansammelt und sich an Ort und Stelle in induzierte Radioaktivität umwandelt. Ein Gleichgewichtszustand stellt sich ein, wenn der spontane Verlust hinreichend gross wird, um die Neubildung zu kompensieren.

Erhitzt man ein Radiumsalz zur Rotglut, so entweicht die ganze Emanation, welche sich auf demselben angesammelt hat; wird das Salz auf die Temperatur der Umgebung zurückgebracht, so sendet es alsdann viel weniger Becquerelstrahlen aus; die Strahlung nimmt indessen nach und nach ihren ursprünglichen Wert wieder an, welcher nach Verlauf von 1 bis 2 Monaten erreicht wird. Das Salz, welches auf Rotglut erhitzt gewesen ist, besitzt kaum mehr die Eigenschaft, Emanation nach aussen auszusenden; diese Eigenschaft kann ihm aber wieder erteilt werden, wenn man es von neuem auflöst und bei etwas erhöhter Temperatur trocknet.

Diffusion der Radiumemanation. — Herr Danne und ich haben das Gesetz für die Diffusion der Radiumemanation untersucht. Ein grosses Glasreservoir ist mit aktivierter Luft gefüllt und steht durch ein Kapillarrohr mit der Atmosphäre in Verbindung. Man misst die von den Wänden des Reservoirs ausgehende Becquerelstrahlung als Funktion der Zeit und leitet daraus das Gesetz für die Ausströmung der Emanation durch die Kapillare ab. Man findet, dass die Ausströmungsgeschwindigkeit der Emanation proportional ist der Menge der im Reservoir befindlichen Emanation; sie ändert sich proportional mit dem Querschnitt der Kapillaren und im umgekehrten Verhältnis ihrer Länge. Diese Gesetze sind dieselben, welche man unter den gleichen Bedingungen für ein mit Luft vermischtes Gas erhält. Der Diffusions-

koeffizient der Emanation in Luft ist gleich 0,100 bei der Temperatur 10°. Dieser Koeffizient ist also von derselben Grössenordnung wie derjenige der Diffusion von Kohlensäure in Luft, welcher bei derselben Temperatur gleich 0,15 ist.

Von Thor induzierte Radioaktivität und Thoremanation. — Thor sendet eine Emanation aus und bringt Erscheinungen induzierter Radioaktivität hervor; diese Eigenschaften haben den Gegenstand zahlreicher Untersuchungen des Herrn Rutherford gebildet. Die Wirkung des Thors ist übrigens wesentlich weniger intensiv als die des Radiums.

Die Thoremanation verschwindet von selbst nach einem einfachen Exponentialgesetz, aber das Verschwinden erfolgt weit schneller als bei der Radiumemanation; die Emanationsmenge des Thors vermindert sich auf die Hälfte in ungefähr 1 Minute und 10 Sekunden, während im Falle des Radiums die Emanationsmenge in 4 Tagen auf die Hälfte abnimmt. Dieser beträchtliche Unterschied giebt den Erscheinungen ein wesentlich verschiedenes Ansehen.

In einem geschlossenen Raume von nicht zu grossen Dimensionen verbreitet sich die Radiumemanation fast gleichmässig über alle Teile des Raumes. Unter den gleichen Umständen findet sich aber die Thoremanation in der Nachbarschaft des Thors angesammelt, weil sie von selbst verschwindet, bevor sie Zeit hatte, in die Luft hinein auf merkbare Entfernung hin zu diffundieren.

Man kann die strahlende Aktivität einer Substanz messen, wenn man diese Substanz auf die untere Platte eines aus zwei parallelen horizontalen Platten gebildeten Kondensators bringt und die Leitfähigkeit misst, welche die Substanz der zwischen den Platten befindlichen Luft mitteilt. Führt man diese Messung mit Thoroxyd aus, so konstatiert man, dass die Leitfähigkeit der Luft stark vermindert wird, wenn man einen Luftstrom zwischen die Platten schickt. Das Thoroxyd sendet nämlich Emanation aus, welche sich über der Substanz ansammelt und durch ihre Strahlung zur Ionisierung der Luft zwischen den Platten beiträgt. Ein Luftstrom führt die Emanation mit fort in dem Masse, wie sie in Freiheit gesetzt wird, und es bleibt alsdann als Ursache für die Ionisierung nur die direkt vom Thor kommende Bequerelstrahlung übrig.

Wiederholt man denselben Versuch mit einem Radiumsalz, so bemerkt man, dass der Luftstrom nur eine sehr schwache Wirkung hervorbringt. Bei Uran und Polonium, welche keine Emanation aussenden, ist die Wirkung des Luftstromes Null. Im Falle des Aktiniums dagegen hat die Einwirkung des Luftstromes den Erfolg, $\frac{1}{5}$ der Leitfähigkeit der Luft zu beseitigen. Man kann schliessen, dass bei Thor und besonders bei Aktinium die Strahlung der Emanation sehr wesentlich ist gegenüber der Strahlung der radioaktiven Substanz selbst.

Will man einen festen Körper bis zur Sättigung mit Thoremanation aktivieren, so ist es notwendig, die Emanation genügend lange Zeit einwirken zu lassen, und zu diesem Zweck muss man sie an der Oberfläche des zu aktivierenden Körpers beständig erneuern. Man erreicht dieses Ergebnis, wenn man einen Luftstrom fortgesetzt durch eine Thorsalzlösung streichen lässt und diesen mit Emanation geladenen Luftstrom gegen den zu aktivierenden Körper sendet. Der durch Thoremanation aktivierte Körper entaktiviert sich von selbst nach einem Exponentialgesetz; die Strahlung sinkt auf die Hälfte während einer Periode von je 11 Stunden. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei den Emanationen verschwindet also die von Thor auf festen Körpern induzierte Radioaktivität viel langsamer als die von Radium induzierte.

Von Aktinium induzierte Radioaktivität und Aktiniumemanation. — Aktinium sendet eine Emanation aus, welche eine sehr intensive Strahlung liefert. Diese Emanation verschwindet spontan mit einer ausserordentlichen Schnelligkeit; sie nimmt auf die Hälfte ab in einem Zeitraum von der Grössenordnung einer Sekunde. In Luft von Atmosphärendruck kann die vom Aktinium ausgesandte Emanation sich nicht weiter ausbreiten als auf 7 oder 8 mm Entfernung von der aktiven Substanz; sie aktiviert also nur die in unmittelbarer Nähe der Quelle belegenen festen Körper. Im luftleeren Raum dagegen ist die Ausbreitung sehr rapid, und ein Körper, der sich in 10 cm Entfernung vom Aktinium befindet, kann noch aktiviert werden. Die von Aktinium auf festen Körpern induzierte Radioaktivität verschwindet nach einem Exponentialgesetz; sie verringert sich auf die Hälfte in ungefähr 36 Minuten.

Konzentration der induzierten Radioaktivität auf negativ geladenen Körpern. — Herr Rutherford hat gezeigt, dass ein der Einwirkung von Thoremanation ausgesetzter Körper stärker aktiviert wird, wenn er auf ein negatives elektrisches Potential gebracht ist, als wenn er sich auf demselben Potential befindet wie die benachbarten Körper; im Gegensatz hierzu wird er weniger aktiviert, wenn er auf ein positives elektrisches Potential gebracht ist. Die gleiche Erscheinung zeigt sich bei der Aktivierung durch Radium und Aktinium. Die Natur dieses sonderbaren Phänomens scheint mir noch nicht recht festgestellt.

(Schluß folgt.)

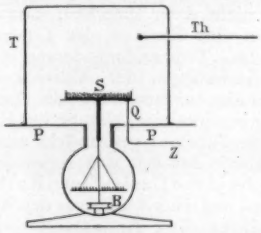
Über den Einfluss von Temperaturänderungen auf radioaktive Substanzen.

(Vorläufige Mitteilung.)

Von Stefan Meyer und Egon R. v. Schweidler.

Anlässlich einer Untersuchung von Urannitrat in wässeriger Lösung zeigten sich einige Unregelmässigkeiten, die zunächst einer Klarstellung bedurften. Vor allem waren es Einflüsse von Temperaturänderungen, die wir eingehender verfolgen mussten.

Die Versuchsanordnung war im wesentlichen die folgende (vergl. Fig.). Auf den Hals eines



Elster-Geitelschen Elektroskopes mit Bernsteinisolierung (B) im Inneren wurde eine Platte (P) vom Durchmesser 14 cm bezw. 20 cm aufgesetzt, während ein Tischchen Q ($d = 6{,}5$ bez. 6 cm) mittels eines Stiftes an den Blättchenträger angebracht war. Darüber war ein grösserer Topf T aus Kupfer oder verzinntem Eisenblech gestülpt. Ein Schälchen enthielt die radioaktive Substanz S und stand auf dem Tischchen. Die Ladung des Elektroskopes geschah mittels eines an Q gelöteten Drahtes (Z), der durch ein kleines Loch in der Platte P herausragte. Hierbei war die einzige Isolation der Bernstein im Elektroskop. In manchen Fällen musste eine abgeänderte Anordnung zur Verwendung kommen, wobei die Substanz am Boden eines Topfes lag, während die mit dem Elektroskop verbundene Entladungsplatte ebenfalls durch eine Bernsteinisolation durch ein Loch des Topfdeckels eingeführt war.

Wird der Topf durch einen Bunsenbrenner erhitzt, so verändert sich im allgemeinen die Entladungsgeschwindigkeit und zwar in dem Sinne, dass sie kleiner wird. Bei allmählicher Abkühlung wird der Normalwert der Entladungsgeschwindigkeit wieder erreicht, bisweilen sogar etwas überschritten, doch hält die Herabminderung im allgemeinen länger an, als die Temperaturerhöhung. Diese Erscheinung wurde beobachtet bei metallischem Uran, Urannitratkrystallen, Urannitrat in wässeriger Lösung, Pechblende, ferner auch bei Polonium (Radiotellur Marckwalds) sowie Radium. Sie zeigt starke Unregelmässigkeiten, so dass eine quantitative Fassung derzeit noch nicht gegeben werden kann. Wir führen im folgenden einige Detailresultate an.

Als Mass des Entladungsstromes wird die Zeitdauer verwendet, in der die Blättchen des Elektroskopes ein bestimmtes Intervall durchlaufen, also eine der Entladungsgeschwindigkeit reziproke Grösse. Verschiedene Versuchsreihen sind infolge verschiedener Kapazitäten und da an zwei Apparaten gleichzeitig gearbeitet wurde, nicht direkt miteinander vergleichbar.

A. Metallisches Uran, in Pulverform. Die normale Entladungszeit war $\tau = 123$ Sek. Nach Erhitzung auf $\Theta = 100^0$ (Lufttemperatur im Inneren des Topfes) $\tau = 245''$.

Nach abermaligem Erwärmen $\Theta = 145^0$; $\tau = 480''$.

Bei Abkühlung allmähliches Absinken bis $\tau = 124''$.

Dieses Beispiel zeigt den Effekt in besonderer Stärke. Im Gegensatz hierzu erwies sich Erwärmung des Topfes im Wasserbade auf Temperaturen bis 70^0 als einflusslos.

Spätere Versuche mit demselben Präparate ergaben qualitativ ähnliche Resultate, wie der erstangeführte, aber in geringerer Intensität.

Wird bloss die Substanz allein ausserhalb des Entladungsraumes erwärmt und dann heiss in den Apparat gestellt, so tritt ein analoger Effekt auf, bei dem die Vergrösserung von τ die rasch verschwindende Temperaturerhöhung beträchtlich überdauert.

B. Urannitratkrystalle. Dieselbe Erscheinung zeigte sich in mehreren Versuchen an Urannitratkrystallen, wir erhielten auch hier teilweise starke Effekte, z. B. Vergrösserung von $\tau = 127''$ auf $180''$; teilweise schwächere wie $\tau = 41''$ auf $\tau = 47''$.

C. Urannitrat in wässeriger Lösung. Starke Effekte bei Erhitzung des Topfes, z. B. $\tau = 192''$ auf $\tau = 298''$ oder
$\Theta = 25^0$, $\tau = 153''$ auf $\Theta = 89^0$, $\tau = 196''$ oder
$\Theta = 17^0$, $\tau = 60$ auf $\Theta = 99^0$, $\tau = 81''$ und Absinken auf $\tau = 57''$ in anderthalb Stunden (wobei allerdings eine kleine Konzentrationsänderung der Lösung nicht ausgeschlossen erscheint).

Heisse Lösung in den Apparat eingebracht, ergab
$\tau = 196''$ für $\Theta = 55^0$,
$\tau = 163'$ für $\Theta = 20^0$, d. i. 2 Stunden später,
$\tau = 140''$ für Zimmertemperatur, 24 Stunden später.

D. Pechblende. Diese kam in Form von feinkörnigem Uranschlich und gestossenem pulverförmigen Uranscheiderz zur Untersuchung.

Qualitativ erhielten wir hier zunächst dieselben Ergebnisse wie bei Uran, sowohl bei Anheizung des Topfes als bei Erwärmung der Substanz ausserhalb des Apparates.

Wurde die Substanz durch ein Aluminiumblech überdeckt, so dass nur die durchdringlicheren Strahlen zur Wirkung gelangten, so zeigt sich erstens, dass die Vergrösserung der Entladungszeit durch Erhitzen erheblich gesteigert erscheint und zweitens, dass während der allmählichen Abkühlung die Entladungszeit beträchtlich unter ihren Normalwert sinkt, dann aber im Verlaufe von mehreren Stunden den Normalwert wieder annimmt.

E. Polonium. Ein Wismutstäbchen mit Poloniumüberzug (Radiotellur) zeigte den Effekt zwar noch merklich, aber schwach, z. B. $\tau = 16''$ bei Zimmertemperatur, auf $\tau = 19''$ bei $\Theta = 120^0$. Auch eine galvanometrische Messung des Sättigungsstromes ergab eine schwache Verringerung desselben von 28,8 Skalenteilen auf 25 bei 200^0.

F. Radium. Ein altes, im Jahre 1899 uns von dem Ehepaare Curie zur Verfügung gestelltes Präparat (Radium-Baryumcarbonat) gelangte in metallischer aus Aluminium und darüber ca. 1 mm dickem Bleiblech gebildeter Umhüllung zur Verwendung. Es zeigte bei Erwärmung des Topfes zunächst den bei allen anderen Substanzen beobachteten Effekt der Vergrösserung der Entladungszeit, doch trat hierauf immer eine ausserordentlich starke Verminderung derselben ein, die offenbar auf Freiwerden von Emanation beruht, da dann stets auch eine Aktivierung des Apparates konstatiert werden konnte. —

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass bei allen untersuchten Substanzen durch Erwärmung des Entladungsraumes oder der Substanz auf mässige Temperaturen (unter 200^0) eine vorübergehende Verminderung des Entladungsstromes auftritt, die aber länger als die Temperaturerhöhung anhält. Bezüglich der Deutung dieser Erscheinungen ist es zunächst fraglich, ob sie auf einer Änderung der Aktivität des Präparates oder auf einer Veränderung des leitenden Mediums beruht. Was den letzteren Fall anbelangt, so sind von vornherein zwei Möglichkeiten gegeben, von denen die eine, Erhöhung der Ionenbeweglichkeit mit der Temperatur, den entgegengesetzten Effekt haben müsste und ausserdem nur zur Geltung gelangen könnte, wenn die angewandte Spannung zu gering wäre, um den Sättigungsstrom zu erzielen. Kontrollversuche ergaben für unseren Entladungsbereich (zwischen ca. 200 und 150 V), dass der Sättigungsstrom erreicht war. Die zweite Möglichkeit ist die, dass nur ein Teil der Strahlung absorbiert und somit zur Ionisierung verwendet wird und dass daher Dichteänderungen (Abnahme der Dichte mit steigender Temperatur) mit der Absorptionsfähigkeit der Luft zugleich den Betrag des Sättigungsstromes herabdrücken. Gegen diese Auffassung spricht schon der Umstand, dass, wie schon oben erwähnt, die Wirkung noch anhält, wenn die Temperatur der Umgebung ganz oder nahezu wieder erreicht ist. Ferner haben auch direkte Versuche, bei denen der Druck durch Auspumpen variiert wurde, oder die Luft durch Leuchtgas ersetzt war, ergeben, dass eine entsprechende Änderung nicht auftrat.

Es erübrigt also die Annahme, dass vorübergehend die Aktivität geändert werde. Gegenüber den negativen Resultaten Becquerels[1]) bei Uran ist erstens zu bemerken, dass Becquerel nur bis zu der mässigen Temperatur von 83^0 erwärmt hat, zweitens, dass auch unsere Resultate nicht dafür sprechen, dass die Aktivität direkt eine Funktion der Temperatur sei, sondern dass Temperaturänderungen vorübergehende Änderungen der Aktivität bedingen. Es liegt nahe, anzunehmen, die Temperatursteigerung bewirke eine Abgabe von Emanation, so dass die Substanz geschwächt zurückbleibt, aber im Laufe der Zeit sich regeneriert — ein Vorgang, der ja von Curies[2]) und Rutherford[3]) an Radium- und Thorium-Präparaten beobachtet wurde. Gegen diese Auffassung spricht allerdings der Umstand, dass bisher für Uran[4]) und Polonium Emanationen nicht angenommen wurden und weiter die Thatsache, dass von der mit dem Freiwerden der Emanationen zu erwartenden anfänglichen Verstärkung des Entladungsstromes bei diesen Substanzen in unseren Versuchen bisher nichts sicher zu stellen war, mit Ausnahme eines vereinzelten und deswegen nicht verlässlichen Falles bei einem Versuche mit metallischem Uran. Immerhin wäre die Erklärung möglich, dass diese Emanationen so rasch verschwinden[5]), dass sie sich der Beobachtung in unserer Anordnung entzogen.

Mit Versuchen von Frau Curie[6]) in qualitativer Übereinstimmung ist die von uns einstweilen bei Radium und Pechblende konstatierte Thatsache, dass die Verminderung der Aktivität hauptsächlich die β-Strahlung betrifft, während das α-strahlende Polonium von allen Substanzen den Effekt am schwächsten zeigte.

1) H. Becquerel, Recherches sur une propriété nouvelle de la matière 1903, p. 67.
2) S. Curie, Recherches sur les substances radioactives, Paris 1903, p. 129.
3) Vgl. E. Rutherford, diese Zeitschrift **2**, 429, 1901.
4) Abgesehen von einer Vermutung R. J. Strutts Nature **69**, 473, 1904.
5) Vgl. hierzu: S. Curie, l. c. S. 115 und die Angaben über Thorium und Aktinium, J. J. Thomson, Conduction of electricity through gases 1903, p. 553.
6) S. Curie, l. c. S. 129.

Wien, 8. April 1904.

(Eingegangen 9. April 1904.)

Über Radioaktivität von Erdarten und Quellsedimenten.

Von J. Elster und H. Geitel.

Im folgenden möchten wir im Anschluss an frühere Untersuchungen[1]) über Messungen der Radioaktivität verschiedener Erdarten, Gesteine und Quellsedimente berichten, deren Ergebnisse uns in mancher Beziehung bemerkenswert erscheinen.

Der Apparat, dessen wir uns bedienten, ist zwar im wesentlichen der alte geblieben, doch lohnt es sich vielleicht in Rücksicht darauf, dass einige Abänderungen, die sich als praktisch erwiesen hatten, angebracht sind, und dass diese Untersuchungen etwa von anderer Seite aufgenommen und weitergeführt werden möchten, eine neue zusammenfassende Beschreibung zu geben.

Auf einem von drei Stellschrauben getragenen eben geschliffenen Eisenteller $T\,T$ von 21 cm Durchmesser ruht auf einem centralen Zapfen das mit Spiegelskala und innerer Bernsteinisolation ausgestattete geeichte Exnersche Elektroskop E mit aufgesetztem Zerstreuungskörper K (Fig. 1). Eine Glocke aus Messingblech von 18 cm innerem Durchmesser und 34,5 cm Höhe kann so auf den Teller gesetzt werden, dass sie das Elektroskop überdeckt. Von zwei diametral gegenüberstehenden kreisförmigen Öffnungen O und O', die durch Spiegelglasplatten verschlossen sind, lässt die eine Licht von hinten auf das Elektroskop fallen, die andere an der Vorderseite dient zum Ablesen der Skala, nötigenfalls unter Zuhilfenahme einer Lupe, sie seien kurz als Beleuchtungs- und Ablesungsfenster unterschieden. Der Deckel der Glocke trägt am Rande einen Tubus F, durch den um eine senkrechte Achse drehbar, luftdicht schliessend und durch Hartgummi isoliert, ein gebogener Messingdraht D eingeführt ist, der die Zuführung der Ladung an das Elektroskop vermittelt. Sein oberes Ende trägt eine Metallkugel K', das untere, in einen federnden Blechstreifen B auslaufend, kann durch Drehung des Drahtes entweder mit dem Zerstreuungskörper oder der Wand der Glocke in leitende Berührung gebracht werden.

Um dem Elektroskop eine Ladung zu erteilen, dreht man den Draht D bis zum Kontakt der Feder B mit dem Zerstreuungskörper K, und berührt die Kugel K' mit dem einen freien Pole einer Zambonischen Säule, deren andern man in der Hand hält. Ist eine genügende Divergenz der Blätter erreicht, so entfernt man die Säule und dreht den Draht zurück, bis die Feder an die Wand der Glocke anschlägt, dadurch ist die in ihm verbliebene Restladung unschädlich gemacht. Die Divergenz des Elektroskops kann nun abgelesen werden, ist die natürliche Beleuchtung nicht ausreichend, so wird hinter dem Beleuchtungsfenster O' eine Lampe aufgestellt.

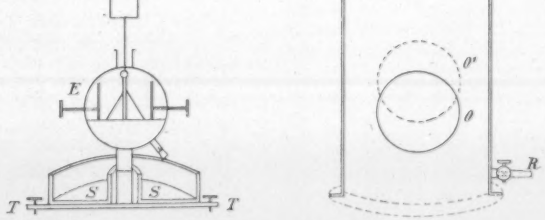


Fig. 1.

Zwei Röhren R und R' am oberen und unteren Ende der Glocke dienen zum Ein- und Ableiten von Gasen, die man auf einen Gehalt an radioaktiver Emanation untersuchen will. Bei solchen Versuchen wird der feste Anschluss der Glocke an den Teller durch drei aufgesetzte Schrauben und Dazwischenbringen von Vaseline gesichert.

Die Prüfung beliebiger Stoffe auf Radioaktivität geschieht einfach dadurch, dass man sie unter die Glocke bringt und die durch sie bewirkte Zunahme der Ionisierung der Luft an dem Rückgange der Spannung des Elektroskops beobachtet.

Zur Aufnahme der Substanzen dient eine Zinkschale $S\,S$ mit 2,5 cm hohem Rande, deren

1) Diese Zeitschrift **4**, 522, 1903 und **5**, 11, 1904.

Durchmesser so gewählt ist, dass sie gerade unter die Glocke passt, in der Mitte ist sie durchlocht, um den das Elektroskop tragenden Zapfen hindurchzulassen.

Man bestimmt vor jeder Messung zunächst, um wieviel Volt die am Elektroskop abgelesene Spannung (durch die natürliche Ionisierung der Luft sowie, was kaum in Betracht kommt, durch Abfluss über die Bernsteinisolation) im Verlauf einer Stunde sinkt, wenn die Zinkschale leer ist. Bei den gewählten Dimensionen findet man normalerweise 6—10 Volt. Alsdann bringt man die zu untersuchende, abgewogene Substanzmenge hinein, am besten in trockenem Zustande und beobachtet den Spannungsverlust in der gleichen Zeit. War genügend Material vorhanden, so verwandten wir stets 125 g, bei Gesteinen und Erden liefert diese Menge durchschnittlich eine Schicht, die den Boden der Schale etwa 1—3 mm hoch bedeckt. Bei geringer Substanzmenge rechneten wir den Spannungsverlust auf 125 g um, indem wir ihn der angewandten Masse proportional setzten.

Wenn bei erheblicher Aktivität der Erdprobe die Blättchen des Elektroskops in einer Stunde ganz zusammenfallen, oder wenn die geringe verbleibende Divergenz in ein unsicheres Bereich der Eichungstabelle führen würde, schränkt man die Beobachtungsdauer angemessen ein und rechnet die gefundene Spannungsabnahme auf eine Stunde um. Die so gewonnenen Zahlen geben, nach Abzug der ohne Gegenwart der Substanz beobachteten Abnahme ein Mass für deren Radioaktivität. Allerdings ist nicht zu vergessen, dass dies Mass nur die Summe der ionisierenden Wirkungen darstellt, die von den drei verschiedenen Strahlengattungen und der etwa entwickelten Emanation herrühren und dass es daher von vornherein keine zwingenden Schlüsse etwa auf die Stärke der photographischen Eindrücke (durch opake Schichten) erlaubt, die man von dem untersuchten Körper erwarten darf, und die wesentlich durch die Intensität der β- und γ-Strahlen bestimmt sind.

Bemerkt man, dass die Leitfähigkeit der Luft im Apparat um so mehr ansteigt, je länger die Substanz darin belassen wird, so ist dies ein Zeichen, dass sie radioaktive Emanation ausgiebt. In diesem Falle, der für alle Erdproben und Quellsedimente zuzutreffen scheint, wird der Apparat leicht durch induzierte Aktivität für einige Zeit unbrauchbar gemacht; man nehme daher solche Proben, die diese Erscheinung stark zeigen nach Beendigung der ersten Messung heraus und lasse die Glocke gelüftet 24 Stunden stehen; Abreiben der gesamten inneren Oberfläche mit einem Tuche unterstützt das Verschwinden der induzierten Aktivität.

Dass man nicht eigentliche Radium- und Thoriumpräparate, etwa gar in unbedeckten Gefässen unter die Glocke bringen darf, ist wohl selbstverständlich. Die geringste verstreute Menge davon reicht aus, den Apparat dauernd zu verderben.

In den beiden folgenden Tabellen sind für verschiedene Erdarten und Gesteinsproben, sowie für Quellsedimente die mit dem Apparate gefundenen Aktivitätszahlen, bezogen auf 125 g Substanzmenge und eine Stunde Beobachtungsdauer, zusammengestellt.

Bei der Wahl der zu untersuchenden Proben gingen wir von der früheren Erfahrung aus, dass besonders die tonhaltigen Erden eine merkliche Aktivität zeigten, wir haben daher solche von der verschiedensten Herkunft zu beschaffen gesucht. Besonders schien es uns von Interesse, in Hinblick auf den Emanationsgehalt gewisser Kohlensäureexhalationen in altvulkanischen Gebieten und auf die merkwürdig hohe Aktivität des aus verwandtem Ursprunge entstammenden Fangoschlammes [1]), tonige Verwitterungsprodukte älterer und jüngerer Eruptivgesteine zu prüfen. Natürlich sprach auch der Zufall insofern mit, als wir uns bei dem Bezuge der Boden- und Gesteinsproben auf solche beschränken mussten, die uns von den betreffenden Fundorten aus durch das Entgegenkommen sachkundiger Freunde geliefert werden konnten. Wir sind einer grossen Zahl von Herren dadurch zu lebhaftem Danke verpflichtet.[2])

Beim Überblick über Tabelle I fällt zunächst die vergleichsweise hohe Radioaktivität der aus Basalten der Gegend von Marburg durch Verwitterung gebildeten Tone auf. Noch stärker tritt diese hervor in den Erdproben von Capri, von denen einige, besonders der Höhlenlehm, sogar den Fango von Battaglia übertreffen. Wir waren deshalb anfangs geneigt, die Radioaktivität als eine charakteristische Eigenschaft vulkanischer Produkte anzusprechen, gaben aber diesen Gedanken auf gegenüber der sehr geringen Wirksamkeit der — allerdings rezenten — vom Ätna stammenden eruptiven Massen, die beträchtlich hinter den Erdproben aus dem Harze und von unserm Wohnorte zurückbleiben. Man kann voraussagen, dass die aus der Erde von Capri oder aus Tonlagen basaltischen Ursprungs entnommenen Wasser und Luftproben sich durch relativ grossen Gehalt an radioaktiver Emanation auszeichnen werden. In bemerkenswerter Übereinstimmung mit der Wirksamkeit der Erde aus Capri steht das durchschnittlich hohe Leitvermögen der Luft über

1) Diese Zeitschrift **5**, 15, 1904.

2) Insbesondere danken wir den Herren Dr. Brucke in Marburg, Dr. Cuomo in Anacapri, Dr. Mitscherlich in Kiel und Professor Riccò in Catania für ihre freundlichen Bemühungen.

Tabelle I.

Aktivität verschiedener Erdarten und Gesteine, je 125 Gramm. Potentialabfall in einer Stunde, der normale Verlust ist abgerechnet.

Fango von Battaglia 27,6—30,3	Ackererde von Wolfenbüttel 6,8—10,4	Ton aus Granit (Harz) 11,9	Ton aus verwittertem Basalt, Marburg 19,2—21,7	Ton aus Buntsandstein, Marburg 6,1
Schwerspathaltiger Ton, Marburg 8,5	Ackererde von Capri 26,8	Detritus aus der Grotte von Capri 2,8	Pozzolan-Erde Capri 23,3	Verwitterte vulk. Ablagerungen, Capri 51,7
Höhlenlehm Capri 101,8	Schlamm aus Schlammvulkan, Ischia 11,4	Ton aus vulkanischem Gestein, Java 9,6—10.5	Detritus der Lava des Ätna von Nicolosi 2,7	Gartenerde von Nicolosi 0,0
Gartenerde vom Observatorium Catania 2,9	Schlamm aus dem Schlammvulkan Maccalubo am Ätna 2,0	Weinbergerde aus Nicolosi 0,0	Humus der Lava von 1889 (Ätna) 3,9	Lapilli und Asche von 1659 (Ätna) 1,1
Verwitterter Glimmerschiefer, Lugano 1,8—7,8	Nagelflue, verwittert, Lugano 5,2	Ton aus verwittertem Porphyr von Baden-Baden 7,2—11,4	Verwittertes Porphyr aus einer Schwerspatader, Baden-Baden 5,6	Erde aus dem Thermalgebiet von Baden-Baden 1,2—3,6

Tabelle II.

Aktivität verschiedener Quellsedimente, je 125 Gramm. Potentialabfall in einer Stunde, der normale Verlust ist abgerechnet.

Fango von Battaglia 27,6—30,3	Sediment aus Wiesenbad, feinstes Pulver abgesiebt 72,8	Sinter aus Leitungsröhren, Bad Nauheim, pulverisiert 23,4—34,3	Baden-Baden, Schlamm aus der Hauptstollenquelle 1500—2000	Baden-Baden, Schlamm aus dem „Ursprung" 3000
Baden-Baden, Schlamm aus den Kühlbassins 300—400	Baden-Baden, Sinter aus Leitungsröhren, rötlich gefärbt 37,2—46,4	Baden-Baden, Sinter aus Leitungsröhren, hellgelb 3,6	Baden-Baden, Sandartiges Sediment v. Calciumcarbonat, beim Stehen des Thermalwassers an der Luft ausfallend 1,6	Baden-Baden, Schlamm aus der Büttenquelle 13,3
Wirksamstes Uranpecherz von Joachimsthal zum Vergleich 13000 (annähernd)	Urankaliumsulfat 3600			

jener Insel, das von Elster[1]) gefunden und von Herrn Cuomo[2]) in längeren Beobachtungsreihen bestätigt ist. — Die Frage, ob die natürliche Aktivität der Erdproben bei längerem Aufbewahren konstant bleibt, wird erst nach einigen Jahren mit Aussicht auf Erfolg in Angriff genommen werden können. Es scheint, dass die ältesten Proben allerdings einen kleinen Rückgang erkennen lassen, doch wäre es voreilig, diesen auf eine Erschöpfung des radioaktiven Bestandteiles zurückzuführen. Wahrscheinlicher ist es, dass nach dem Herausnehmen der Substanz aus dem mit Emanation gesättigten Erdboden ein allmählicher Verlust der in ihr aufgespeicherten Emanation an die inaktive Umgebung stattfindet, ohne dass ein genügender Ersatz aus der Substanz selbst erfolgt. Durch Hineinbringen in Bodenluft müsste sich daher solche scheinbar erschöpfte Erde regenerieren lassen. Vorderhand sind die Differenzen noch zu klein, um den Versuch entscheidend erscheinen zu lassen.

Wie die Untersuchung der vulkanischen Produkte, so ist auch die der Sedimente der Thermalquellen (Tabelle II) durch die am Fangoschlamme gefundene Aktivität veranlasst worden. Die erste Probe dieser Art, die uns durch die Verwaltung des Warmbads Wiesenbad im Erzgebirge zugesandt wurde, hatte etwa die doppelte Aktivität des Fango, eine zweite aus Baden-Baden, die wir der Freundlichkeit des Herrn Sanitätsrats Schliep daselbst verdanken; übertraf ihn um mehr als das 10fache. Es war uns daher von besonderem Werte, dass einer von uns, Geitel, auf Einladung des letztgenannten Herrn die Untersuchung des Badener Thermalschlammes an Ort und Stelle vornehmen konnte.[1]) Hierbei ergab sich, dass die Aktivität der von dem Wasser der Badener Thermen abgesetzten festen Stoffe um so geringer ist, je weiter vom Ursprunge der Quellen sie sich bilden. An diesem selbst fällt ein Schlamm von ganz hervorragender Aktivität heraus, die mit der der Uransalze durchaus vergleichbar ist.[2]) Durch 125 g der wirksamsten Substanz wurde das Elektroskop des beschriebenen Apparats in wenigen Minuten entladen. Brachte man den Schlamm in einen geräumigen geschlossenen Behälter und hängte an einem isolierten Metalldraht einen mit Sidotscher Blende bestrichenen Kartoncylinder darin auf, der durch

1) J. Elster, diese Zeitschrift **2**, 113, 1900.

2) V. Cuomo, Nachrichten der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaft zu Göttingen, Mathem.-phys. Klasse, Heft 6, p. 324, 1902.

1) Ausser Herrn Sanitätsrat Schliep sind wir den Herren Hofrat Obkircher, Dr. Rössler und Maschinenmeister Leitz in Baden-Baden zu Dank verpflichtet.

2) Bemerkenswert ist, dass in früheren Zeiten der Badener Schlamm zu den gleichen therapeutischen Zwecken verwandt ist, wie der Fango von Battaglia. (Vgl. O. Rössler, Balneologische Centralzeitung, August 1903.)

Anschluss an eine Hochspannungstrockensäule auf —2000 Volt geladen wurde, so zeigte dieser nach 2—3stündigem Verweilen in der mit Emanation gesättigten Luft die szintillierende Phosphoreszenz in deutlichster Weise. Aber schon der in den Kühlbassins ausfallende Schlamm steht an Aktivität hinter diesem ersten Produkte zurück, der in den Leitungsröhren sich absetzende Sinter und der in sandartiger Beschaffenheit sich bei Zutritt von Luft niederschlagende kohlensaure Kalk sind fast frei von radioaktiver Masse. Schlamm aus einer fast normal temperierten Quelle (der sogenannten Büttenquelle), die in der Nachbarschaft der Thermen entspringt, war schwach aktiv, ebensowenig (vgl. Tabelle II) zeigte sich irgendeine abnorme Aktivität an der Erde über dem Ursprunge der heissen Quellen wie an den Gesteinen der Umgebung und deren Verwitterungsprodukten. Lässt man eine grössere Menge Badener Schlammes 24 Stunden unter der Glocke des Apparats, so füllt sich diese so mit Emanation an, dass das Elektroskop fast momentan entladen wird.

Diese unausgesetzte reiche Entwicklung von Emanation aus dem Schlamme führt notwendig dazu, dass auch das Thermalwasser selbst mit solcher durchsetzt ist, wie es Herr Himstedt schon früher an den Badener Quellen nachgewiesen hat.[1]) Auch Herr Kahlbaum hatte einer freundlichen Mitteilung zufolge schon vor Beginn der Untersuchungen Geitels nach einer neuen, noch nicht veröffentlichten Methode positive Anzeichen von Radioaktivität in dem Thermalwasser und den von den Thermen im Quellschacht entwickelten Dämpfen gefunden.

Leider ist die Menge des zur Zeit vorhandenen aktivsten Schlammes so gering, dass an eine erfolgreiche chemische Behandlung nicht gedacht werden kann, bevor nicht eine grössere Quantität angesammelt ist. Eine Analyse von Bunsen zeigt keinen verdächtigen Bestandteil, die Hauptmasse ist Calciumcarbonat, auch beträchtliche Mengen organischer Substanz, von einer in dem heissen Wasser lebenden Alge herrührend, sind darin enthalten. Uran oder Thor werden von Bunsen nicht aufgeführt, doch wäre zu prüfen, ob sie nicht in Spuren vertreten sind.

Merkwürdigerweise hat die Kurve des Abfalls der induzierten Aktivität für den Badener Schlamm eine andere Gestalt als die für Radium oder Thorium gültige. Die Abnahme der Radioaktivität ist wesentlich langsamer als für Radium, und schneller als für Thorium, auch das für Thorium charakteristische Ansteigen nach kurzer Expositionszeit konnte nicht erhalten werden. Ob ein Gemisch der bekannten aktiven Stoffe vorliegt, oder ob ein noch unbekanntes Element dieser Art darin vermutet werden muss, kann erst auf Grund von Untersuchungen an reicherem Materiale festgestellt werden. Die letztere Annahme möchten wir durchaus nicht für unwahrscheinlich halten.

Die Proben aus Bad Nauheim sind uns freundlicherweise von Herrn Professor Dr. Schott daselbst zugesandt. Während des Druckes dieser Mitteilung erhielten wir eine zweite Sendung von Proben aus Nauheim, unter der sich ein Sediment (aus dem Kurbrunnen) befand, dessen Aktivität (1400) der des Schlammes aus dem Badener Hauptstollen nahe kommt.

Die Methode, bei der Untersuchung von Quellwässern auf Radioaktivität in erster Linie die Sedimente zu prüfen, ist gegenüber dem Nachweis von Emanation in dem Wasser insofern von Vorteil, als die Sedimente ihre Wirksamkeit für absehbare Zeit beibehalten, also nicht unmittelbar nach ihrer Entnahme untersucht zu werden brauchen und beliebig versandt werden können. Findet man, dass sie Emanation entwickeln, so muss diese auch in dem Wasser enthalten sein, dem sie entnommen sind. Es scheint, dass radioaktive Stoffe in den Thermalquellen sehr verbreitet sind.[1])

Zum Schluss möchten wir unsere frühere Mitteilung über die aus dem Fangoschlamme auf chemischem Wege gewonnenen radioaktiven Produkte durch die inzwischen neu gemachten Erfahrungen vervollständigen. Wir hatten gezeigt, dass die salzsaure Lösung des Rohmaterials nach Abfiltrieren des Rückstandes beim Fällen mit Chlorbaryum einen aktiven Niederschlag von Baryumsulfat giebt und dass durch Elektrolyse aus ihr auf der Kathode aktive Schichten gewonnen werden können.

In der Zwischenzeit hat sich nun feststellen lassen, dass die Barytniederschläge mit der Zeit an Aktivität verlieren, in 100 Tagen ergab sich ein Zurückgehen auf etwa $^2/_3$ der anfänglichen Wirksamkeit. Dabei geben diese Präparate reichlich Emanation aus, die von ihnen ausgehenden Strahlen sind der Hauptsache nach — vielleicht ausschliesslich — α-Strahlen, eine photographische Wirkung durch Aluminium hat sich nämlich nicht erzielen lassen.

Dagegen haben die durch Elektrolyse auf Platinblechen niedergeschlagenen Schichten im Laufe der Zeit so wenig an Aktivität verloren, dass es überhaupt zweifelhaft ist, ob ein Verlust stattgefunden hat. Sie geben keine Emanation aus und wirken photographisch

1) F. Himstedt, Ber. der Naturf.-Ges. in Freiburg i. B. 14, 181 und diese Zeitschrift 5, 210, 1904.

1) Vgl. ausser den Untersuchungen Himstedts auch die von Strutt an den Quellen von Bath und die letzte Veröffentlichung von P. Curie und A. Laborde C. R. 138, 1150, 1904.

durch Schichten von Aluminiumfolie und schwarzem Papier hindurch. Allerdings ist die Expositionszeit, entsprechend der geringen Aktivität, ziemlich lang zu wählen. Bei einem Versuche, der ein kräftiges Bild einer Schablone aus dickem Stanniol gab, betrug sie 3 Wochen. Da die Platte aber durch 2 Lagen schwarzen Papiers und durch Aluminiumfolie geschützt war, ist an einen andern Ursprung des Bildes, als durch Becquerelstrahlen nicht zu denken, zumal das zu dem Versuche verwandte Kathodenblech sich in dem beschriebenen Apparat als kräftig strahlend erwies, es bewirkte in der Stunde einen Potentialabfall von circa 1300 Volt.

Wolfenbüttel, im Mai 1904.

(Eingegangen 16. Mai 1904.)

Über die Ursache des normalen atmosphärischen Potentialgefälles und der negativen Erdladung.

Bemerkungen zu Prof. Eberts Theorie.

Von George C. Simpson.

1. Von allen in letzter Zeit aufgestellten Theorien zur Erklärung des permanenten elektrischen Feldes in den unteren Bereichen der Erdatmosphäre ist die wichtigste sicherlich die von Prof. Ebert, nach der die Erscheinungen auf die Rechnung von Ionenabsorption aus der freien stark ionisierten Luft des Erdbodens während ihres Durchganges durch den Boden nach der Atmosphäre[1]) gesetzt werden. Auf den ersten Blick sieht diese Theorie recht vielversprechend aus; es bestehen jedoch noch manche Schwierigkeiten, mit denen die Theorie in ihrer gegenwärtigen Form anscheinend nicht fertig werden kann. Es soll nun hier ein Versuch gemacht werden, die wichtigsten von diesen Schwierigkeiten zu erörtern.

2. Der Theorie zuliebe wollen wir annehmen, dass der Erdboden auf der ganzen Erde mit radioaktiver Emanation durchsetzt sei, so dass die in seinen Poren enthaltene Luft stark ionisiert ist. Wenn der barometrische Druck verringert wird, so strömt diese Luft aus, und Prof. Ebert nimmt an, dass sie hierbei mit mehr positiven als negativen Ionen heraustritt, eine Annahme, die er auf die bekannten Versuche von Zeleny u. a. gründet. Diese Versuche haben sicherlich bewiesen, dass beim Durchgange von ionisierter Luft durch Kapillarröhren die Luft unter gewissen Bedingungen positiv geladen austritt; diese Bedingungen sind jedoch begrenzt und nicht leicht zu verwirklichen. Die beiden Hauptbedingungen sind: 1. Die Luft muss von einer Stelle verhältnismässig hoher nach einer Stelle verhältnismässig schwacher Ionisierung durch enge Kanäle hindurchtreten, und 2. die Zeit, welche der Durchgang beansprucht, darf nicht zur Entfernung aller Ionen ausreichen. (Zeleny, diese Zeitschr. **4**, 667, 1903; Simpson, Phil. Mag. (6), **6**, 589, 1903.) Im Erdboden ist keine von diesen Bedingungen erfüllt, da in erster Reihe Prof. Ebert selbst gezeigt hat[1]), dass Bodenluft nur in grossen unterirdischen Höhlen ionisiert ist, und da weiterhin selbst dann, wenn die Luft ionisiert wäre, die Durchgangsgeschwindigkeit der Luft durch die Kapillarkanäle des Bodens infolge fallenden Barometers so gering ist, dass alle positiven und negativen Ionen absorbiert und die Luft in elektrisch neutralem Zustande heraustreten würde. Wir sehen also, dass die Ergebnisse der Zeleny-schen Versuche sich auf Bodenluft nicht anwenden lassen.

3. Die beiden interessanten Versuche, mit denen Prof. Ebert seine Theorie experimentell zu beweisen sucht, entsprechen eigentlich nicht dem natürlichen Vorgang. Bei dem ersten Versuche, bei dem Bodenluft durch die Kapillarkanäle hindurch geschickt wurde, welche durch ein Nadelbündel im Inneren einer Röhre gebildet waren, würde keine Ladung erfolgt sein, wenn man die Luft nicht zuerst eine Reihe von Stunden lang in einem grossen Gefäss hätte stehen lassen, bevor man sie durch die Versuchsröhre gehen liess. Da dieses Abstehen der Luft in einem grossen Raume im Erdboden kein Seitenstück besitzt (die Luft geht ja direkt von dem Boden in die Atmosphäre), so giebt der Versuch die natürlichen Bedingungen nicht wieder und ist daher von ernsthaften Einwürfen nicht frei.

Der zweite Versuch entspricht den natürlichen Bedingungen sogar noch weniger, da wir hier erstens einen Behälter mit stark ionisiertem Gase und zweitens eine poröse Schicht von nur 2,5 mm Dicke haben und da drittens eine schnelle Verminderung des Druckes um 100 mm mit entsprechender schneller Luftströmung durch die Kapillarkanäle stattfindet. Keine von diesen drei Bedingungen tritt in der Natur auf, und die Einwände gegen diesen Versuch sind dieselben wie gegen die allgemeine Theorie, da bei dem Versuch stark ionisierte Luft in die Kapillarkanäle tritt, und in geringerer Zeit als zur Entfernung ihrer gesamten Ionen erforderlich ist, wieder austritt, während in der Natur die Luft lange genug mit dem Boden in Berührung ist, um vollständig ihre Ionisierung zu verlieren. Der anscheinende Erfolg des Versuches ist ausschliesslich die Folge der Dimensionen des Apparates. Wenn der Versuch in einem porösen Cylinder mit 2 cm dicken Wän-

1) Diese Zeitschr. **5**, 135, 1904.

1) Ebert u. Ewers, diese Zeitschr. 4, 162, 1902.

den wiederholt und die Druckverminderung eine Stunde lang andauern würde, so ist es mehr als zweifelhaft, ob dann eine Ladung stattfinden würde, und selbst dann wären die Bedingungen von den natürlichen weit entfernt.

4. Da noch gewichtigere Einwände zu machen sind, so wollen wir des Beweises halber annehmen, dass die Luft, welche aus dem Boden ausströmt, einen Überschuss von positiven Ionen enthält, und die Frage aufwerfen, ob dieser Überschuss zur Aufrechterhaltung des normalen Potentialfalles an der Oberfläche ausreichen würde. An einem normalen Tage kann man annehmen, dass der Potentialgradient 100 Volt pro Meter beträgt und sich bis zu einer grösseren Höhe als 1000 m erstreckt. Dieser letzte Umstand bedeutet, dass ein Überschuss von positiver Elektrizität noch mehr als 1000 m über der Erdoberfläche vorhanden ist. Dieser Überschuss kann nach der Prof. Ebertschen neuen Theorie nur durch einen ansteigenden Luftstrom von der Erdoberfläche dahin getragen worden sein. Da nun ein positives atmosphärisches Ion in einem Felde von 1 Volt/cm sich in der Feldrichtung mit einer Geschwindigkeit bewegt, die zwischen 1 und 2 cm pro Sekunde variiert (H. Gerdien, Messungen der elektrischen Leitfähigkeit der freien Atmosphäre bei 4 Ballonfahrten. — Nachrichten der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, math.-physik. Klasse, Heft 6, 1903), so würde ein senkrechter Luftstrom von wenigstens 1 cm/sec zur Erhaltung des normalen Potentialgefälles auch dann noch erforderlich sein, wenn dieses einmal erregt worden wäre. Dies ist nun eine Vertikalgeschwindigkeit, die nur über einem so kleinen Bereiche der Erdoberfläche besteht, dass wir mit Sicherheit behaupten können, dass falls ein Überschuss von positiven Ionen direkt oberhalb der Erdoberfläche gegeben ist, das normale Feld sich nicht erregen und erhalten liesse.

5. Um noch weiter zu gehen, wollen wir zugeben, dass die Prof. Ebertsche Theorie das normale Feld über Land erklären kann; dann begegnen wir jedoch der Schwierigkeit, die das Feld über dem Ozean bietet. An der Wasserfläche kann keine Abtrennung von Ionen stattfinden, welche der an der Oberfläche losen Bodens entspräche, und da auf diese Weise über dem Ozean die Quelle freier Elektrizität fehlt, kann dort kein Potentialgefälle erzeugt werden. Man könnte nun die Erklärung vorbringen, dass die an der Landoberfläche frei gemachte negative Elektrizität sich über die ganze Erde zerstreue; diese Erklärung berücksichtigt jedoch nicht den Umstand, dass zur Erzeugung des elektrischen Erdfeldes zweierlei nötig ist, nämlich einmal eine negative Ladung an der Oberfläche und ferner eine entsprechende positive Ladung in der Luft; die eine ohne die andere ist zur Erzeugung eines Feldes nicht imstande. Mitten auf dem Ozean, wo keine positive Elektrizität freiwird, kann kein elektrisches Feld bestehen.

6. Es dürfte recht interessant sein, abzuwarten, ob obige Einwände gegen die wichtige neue Theorie wirklich oder nur scheinbar sind, da es wünschenswert wäre, eine befriedigende Theorie zur Erklärung der seit langer Zeit ausstehenden Frage der atmosphärischen Elektrizität aufgestellt und in allen Einzelheiten entwickelt zu sehen.

Karasjoh, 9. März 1904.

(Aus dem Englischen übersetzt von A. Gradenwitz.)

(Eingegangen 24. März 1904.)

Über eine automatisch wirkende Vorrichtung zur Erweiterung des Messgebietes der Registrier-Elektrometer. — Nebst einer Bemerkung über die automatische Aufzeichnung der luftelektrischen Zerstreuung.

Von A. Sprung.

Seit Anfang dieses Jahres ist am Potsdamer Observatorium ein Benndorfscher Registrierapparat [1]) für die Aufzeichnung der luftelektrischen Potentialdifferenz aufgestellt. Da wir also gerade Winter hatten, so ergab sich auch schon bei mässigen Störungen des ruhigen und trockenen Wetters sehr bald die Schwierigkeit des Hinauslaufens der Schreib-Feder aus dem zu Gebote stehenden Messgebiet. Im ersten Augenblick kam deshalb in Erwägung, noch einen zweiten, unempfindlicheren Apparat zu beschaffen. Alsbald erinnerte ich mich dann aber des Prinzips einer mechanischen Konstruktion, welche ich unlängst hatte ausführen lassen, um bei einem Anemometer für momentane Geschwindigkeit eine automatische Umschaltung auf genau halb so grosse Empfindlichkeit zu bewirken, sobald die Geschwindigkeit des Windes eine gewisse obere Grenze (ungefähr 20 m p. Sek.) erreicht.

Bei einem Quadranten-Elektrometer lagen nun zweierlei Möglichkeiten vor, um zu einer ähnlichen Konstruktion zu gelangen: 1. eine Verstellung am oberen Teile der Bifilar-Aufhängung, indem — bei unveränderlichem Abstand unten — die Empfindlichkeit [2]) dem oberen Abstand der Bifilar-Aufhängung annäherungs-

1) H. Benndorf, Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität. X. Über ein mechanisch registrierendes Elektrometer für luftelektrische Messungen. Wiener Sitzber. math.-naturwiss. Cl. CXI. Abt. IIa. April 1902.

2) Unter „Empfindlichkeit" wird verstanden: $\frac{\delta a}{\delta V_5}$, d. h. der Ausschlag des Schreibstiftes für die Einheit der Spannungsänderung; also (etwa bis auf einen konstanten Faktor) das Inverse des Ergebnisses einer Skalenwertbestimmung.

Genaueres über die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von

weise umgekehrt proportional ist (am meisten bei grossem Betrage dieses Abstandes); — 2. eine Veränderung der Anzahl der Kalomel-Elemente, welche zum „Betriebe" des Quadranten-Elektrometers dienen. Je weniger Elemente man anwendet, desto unempfindlicher wird das Instrument, und zwar ist hier nach der Theorie des Instrumentes eine vollkommene Proportionalität vorhanden. Denn nach S. 507 der angeführten Abhandlung wird für entgegengesetzt gleiche Ladung der Quadrantenpaare der Ausschlag a des Schreibstiftes:

$$a = \frac{V_4 \; V_5 \; L \; C_3}{24 \; e_1 + 3{,}3},$$

worin L die Länge der Schreibfeder, C_3 eine dem Apparat eigentümliche Konstante, e_1 den oberen Abstand der Bifilaraufhängung (in cm), V_4 das Potential der Quadrantenpaare, V_5 das zu registrierende Potential der „Nadel" bedeutet. Natürlich ist eine Proportionalität zwischen der Empfindlichkeit des Apparates und der Anzahl der angewandten Elemente nur insofern vorhanden, als man berechtigt ist, die letzteren als gleich zu betrachten.

Von den angedeuteten zwei Möglichkeiten wurde — schon der Einfachheit der Konstruktion wegen — die letztere gewählt.

Für gewöhnlich arbeitet also das Quadranten-Elektrometer mit 100 Kalomel-Elementen. Sobald nun aber das schreibende oder druckende Ende der „Nadel" nach links oder nach rechts an die Grenze des Papierstreifens gelangt, entsteht ein elektrischer Kontakt, welcher einen Quecksilber-Umschalter derartig umlegt, dass nun nicht mehr 100, sondern nur noch 20 Elemente thätig sind. Infolgedessen zieht sich die „Schreibfeder" sofort vom Rande des Papierstreifens zurück und schreibt nunmehr nur noch in einem Fünftel des vorherigen Massstabes weiter.

Bei der Grösse dieses Sprunges ist es so gut wie unmöglich, ihn in der Aufzeichnung zu übersehen; auch erkennt der hinzutretende „Beobachter" aus der Schalterstellung sofort, dass eine automatische Umstaltung erfolgt ist. Es steht ihm nun frei, — was mit einem Griffe geschehen ist — den Apparat wieder auf „Empfindlich" zu stellen — worüber in einem bereitliegenden Buche, mit einem Blick auf die Uhr, eine Notiz ausgeführt wird.

Nichtsdestoweniger ist im Interesse einer leichteren Deutung der Aufzeichnungen und zur Erhaltung thunlichster Klarheit und Übersichtlichkeit der Kurven dafür Sorge getragen worden, dass das Zurückschalten auf „Empfindlich" nicht zu häufig erfolge, nämlich zwei- oder dreimal am Tage.

dem oberen Abstand e_1 der Bifilaraufhängung ergiebt sich aus der alsbald mitzuteilenden Formel; doch sind die Zahlenwerte im Nenner nicht etwa allgemeine Konstanten, sondern hängen von der von Benndorf gewählten Sonderform ab.

In der gewöhnlichen Verfassung der grösseren Empfindlichkeit des Apparates (ich will ihn kurz den primären Zustand nennen) entspricht gegenwärtig 1 mm Bewegung des Schreibstiftes ungefähr einer Änderung der Potentialdifferenz von 15 Volt. Da sich die Null-Lage ungefähr in der Mitte des Papierstreifens befindet, und infolgedessen nach jeder Seite nahezu 5 cm zur Verfügung stehen, so erfolgt die automatische Umschaltung, sobald die luftelektrische (positive oder negative) Potentialdifferenz bis auf ungefähr 700 Volt pro Meter angewachsen ist. — In dem hierdurch hervorgerufenen sekundären Zustande vermag somit der Apparat nach jeder Seite hin ungefähr 3500 Volt zu verzeichnen — was für die gewitterfreie Zeit des Jahres ja einigermassen ausreichen dürfte.[1]) Immerhin soll erwähnt werden, dass trotzdem in einigen wenigen Fällen auch noch nach der Umschaltung einzelne Stücke der Kurve verloren gegangen sind. Der Apparat sollte also im sekundären Zustande doch noch etwas unempfindlicher sein, besonders wenn man in Aussicht nimmt, ihn auch noch bei den Gewittererscheinungen des Sommers zu verwenden, wenn auch vielleicht nicht geradezu bei einem Nahgewitter.

Es scheint ja nun nichts im Wege zu sein, die Zahl der kleinen Elemente noch mehr zu verringern, also z. B. 10 Stück (anstatt 20) zu verwenden. Denn nach den bisherigen Erfahrungen ist die Sicherheit der Einstellung der Nadel bei wenig Elementen ebensogut wie bei vielen; namentlich erscheint die Lage der Null-Linie ganz unverändert.

Es liegt aber auch noch die folgende Möglichkeit vor. Gegenwärtig ist der obere Abstand der Bifilar-Fäden seinem Maximum von etwa 10 mm nahe, so dass man leicht z. B. eine ungefähre Halbierung desselben eintreten lassen kann. Das aber macht den Apparat in seinem primären Zustande empfindlicher. Wenn einem daran aber nichts gelegen ist, kann man die ursprüngliche Empfindlichkeit wieder dadurch herstellen, dass man die Anzahl der Elemente verdoppelt, d. h. 200 (anstatt 100) in Anwendung bringt. Alsdann erscheint es ganz unbedenklich, im sekundären Zustande $^1/_{10}$ der Elemente (anstatt $^1/_5$) zu benutzen, weil es sich dabei immer noch um 20 Stück handelt, von denen man ja nun schon weiss, dass der Apparat ganz gut damit arbeitet.

Sollten aber in Zukunft auch mit 10 Elementen noch ganz gute Ergebnisse erzielt werden, so

1) Obige Zahlenangaben sollen demnächst noch durch unmittelbare Messung zu kontrollieren versucht werden. Auch liegt ihnen noch die bis jetzt nur in nicht ganz ausreichender Weise bestätigte Annahme zu Grunde, dass im freien Felde die Potentialverteilung in der Vertikalen ungefähr übereinstimmt mit der Verteilung in der Horizontalen vor den Fenstern der betreffenden Stelle des Beobachtungsturmes.

läge bei 200 Elementen im primären Zustande sogar die Möglichkeit vor, durch die automatische Umschaltung die Empfindlichkeit auf $^1/_{20}$ zu reduzieren; es würde alsdann nach jeder Seite ungefähr ein Gebiet von 14 000 Volt zur Verfügung stehen.[1])

Ausgeführt wurde der in Rede stehende, im Grunde ja ziemlich einfache Apparat in der kleinen Werkstatt des Observatoriums. Wesentliche Verdienste um diese praktische Verwirklichung des Prinzips hat sich Herr Prof. Lüdeling erworben, von dem die gegenwärtig im Gebrauch befindliche Form hauptsächlich herrührt.

Im wesentlichen besteht die Konstruktion aus einem ad hoc mit grösster Sorgfalt hergestellten Quecksilber-Umschalter, welcher bei Eintritt der Kontakte sich vermöge seines eigenen Gewichtes umlegt, wozu nur ein einziges kleines Leclanché-Element erforderlich ist.

Die 6 gläsernen Quecksilbertöpfchen sind gegen die gut lackierte Holzunterlage noch vermöge einer etwa $^1/_2$ cm dicken Paraffinschicht isoliert. Die elektrischen Zuleitungen sind derartig angelegt, dass sowohl bei viel als wenig Elementen die Mitte der Batterie mit der Erde verbunden ist.

In besonderer Weise sind die Kontakte hergestellt. Weil nämlich der seitliche Druck, welchen die Nadel auszuüben vermag, nur sehr unbedeutend ist, so hat man auf die Verwendung desselben ganz verzichtet. Dafür wurde indirekt der Druck benutzt, welchen die herabfallende Registrierbrücke ausübt. Diese drückt das Zeigerende kräftig nach unten, und führt die Berührung von 2 dünnen Kontaktblechen herbei, sobald sich der Zeiger über den letzteren befindet.

Die Sicherheit der Funktion scheint eine absolute zu sein, denn in 4 Wochen ist die Vorrichtung wohl 20mal in Wirksamkeit getreten und hat dabei niemals versagt.

Beiläufig mögen über die ganze Anlage noch einige wenige Angaben gemacht werden. Seit 4 Jahren ist das Reservoir des Wasserkollektors nicht mehr starr aufgestellt, sondern auf eine schlittenartige Vorrichtung gesetzt, derart, dass das Ausflussrohr ungefähr in der Richtung seiner Erstreckung verschoben werden kann. Infolgedessen ist auch der Abstand der Ausflussöffnung vom Fenster innerhalb der Grenzen von $^1/_2$ bis $1\,^1/_2$ m variabel.

Auch diese Einrichtung verfolgt den Zweck, die Empfindlichkeit des Apparates den jeweiligen Bedürfnissen bis zu einem gewissen Grade anpassen zu können. Was die Reduktion auf gleichen Abstand (1 m) anbetrifft, so wurde von vornherein nur eine näherungsweise Proportionalität erwartet; mehr aber scheint die Erfahrung auch in der That nicht zu ergeben.[1]) Für eine rohe Reduktion genügt es aber, die Empfindlichkeit umgekehrt proportional dem Abstand der Ausflussöffnung vom Fenster anzunehmen. Seit der oben besprochenen Aufstellung des Benndorfschen Registrierapparates wird meistens der normale Abstand von 1 m unmittelbar verwendet, obgleich die Möglichkeit der Verschiebung beibehalten worden ist — was dann und wann immerhin von Bedeutung werden kann. Im Sommer z. B. könnte man vielleicht bei andauernd gutem Wetter mit $1\,^1/_2$ m Abstand arbeiten, bei Böen-Wetter und Gewittern mit $^1/_2$ m Abstand.

Aus dem Vorstehenden wird man ersehen, dass der bis dahin verwendete Wasserkollektor auch bei der Einführung des Registrierapparates beibehalten worden ist. Radioaktive Substanzen sind (besonders nach der üblen Erfahrung, über welche mein Kollege Lüdeling auf S. 358 der Münchener „Denkschrift" berichtet hat) aufs sorgfältigste vermieden, weil in der unmittelbaren Nachbarschaft des die Potentialdifferenz aufzeichnenden Apparates auch Beobachtungen über luftelektrische Zerstreuung und Ionenmessung angestellt werden, deren Umfang noch erweitert werden soll.

Anhang.

Zur automatischen Registrierung der luftelektrischen Zerstreuung konzipierte ich im Dezember 1903 das folgende Verfahren:

Der Zerstreuungskörper eines Ebertschen Aspirationsapparates wird mit der Nadel eines Quadranten-Elektrometers verbunden. Diese „Nadel" trägt als Zeiger einen isolierten Platindraht, mit dessen Hilfe ein elektrischer Strom geschlossen und dazu benutzt werden kann, den Zerstreuungskörper nach einem gewissen Verluste neu zu laden. Letzteres kann beispielsweise mit Hilfe einer, nicht zu kräftigen

1) Es handelt sich hier nicht um bestimmte Vorschläge, sondern nur um Möglichkeiten, die vielleicht versucht zu werden verdienen. — Man darf ja nicht vergessen, dass bei der geringeren Empfindlichkeit die Angaben ungenauer werden. Aber im allgemeinen wird man doch wohl viel lieber mit einer nur wenig ausdrucksvollen Darstellung fürlieb nehmen, als die Kurve ganz verlieren.

Nachträglicher Zusatz (vom Mai 1904): Infolge einer erst später erkannten technischen Unvollkommenheit des Quadranten-Elektrometers beschränke ich mich fürs erste darauf, bei der automatischen Umschaltung eine Reduktion der Empfindlichkeit auf $^1/_3$ eintreten zu lassen, indem 34 (anstatt 20) Elemente angewandt werden. — Für mässig gestörtes Wetter ist aber auch hiermit schon viel erreicht.

Einiges Genauere hierüber wird voraussichtlich in der Meteorol. Zeitschr. 1904 in dem Berichte über die 10. allgemeine Versammlung der deutschen Meteorologischen Gesellschaft mitgeteilt werden.

1) Genauere Bestimmungen werden sich gerade bei Anwendung des Registrierapparates verhältnismässig leicht ausführen lassen.

Zambonischen Trockensäule geschehen, indem man dieselbe mehr oder weniger schnell an den Zerstreuungskörper heranschiebt, oder auf andere indirekte Weise mit demselben in Berührung bringt. Es wird dann vielleicht mit Hilfe eines anderen ähnlichen Platindrahtes [1]) möglich sein, dafür Sorge zu tragen, dass die Ladung auch eine gewisse obere Grenze nicht überschreitet.

Hierdurch wäre also die Ladung zwischen zwei in zweckmässiger Weise zu wählende Grenzen eingeschlossen. Die Zeit, in welcher das betreffende konstante Intervall durchlaufen wird, ist natürlich um so grösser, je geringer die betreffende Luft elektrisch zerstreuend wirkt; oder bei Anwendung des Ebertschen Apparates fast unmittelbar: je geringer die Anzahl der Ionen in der Volumeneinheit ist.

Die Zeiten der Neuladung des Zerstreuungskörpers — sie mögen durchschnittlich etwa eine viertel oder halbe Stunde voneinander abstehen — können vermöge irgendeines Chronographen leicht automatisch aufgezeichnet werden.

Für positive und negative Zerstreuung könnte man wohl 2 getrennte Apparate verwenden, wenn dieselben genügend gut miteinander verglichen werden. —

Auf diese Weise würde sich wenigstens in groben Zügen der tägliche Gang des Elementes: „luftelektrische Zerstreuung" registrieren lassen.

Aber sogar die Möglichkeit einer kontinuierlichen Registrierung würde hier vorliegen, wenn man es fertig brächte, den elektrischen Strom beim Aufladen des Zerstreuungskörpers sich selbst aufzeichnen zu lassen.

Bald nach Auffindung dieses Verfahrens erfuhr ich dann aber, dass wenigstens das Prinzip desselben nicht neu war; denn es stimmt überein mit demjenigen eines Apparates von Kann in Leoben.[2]) Bei diesem Instrumente werden alle mit einem Elster-Geitelschen Zerstreuungsapparate auszuführenden Manipulationen in getreuer Weise automatisch durchgeführt.

Es existiert also in der That schon eine Lösung der vorliegenden Aufgabe, welche mir — wie schon erwähnt — zunächst entgangen war. Trotzdem glaubte ich, meinen Plan vom Ende vorigen Jahres hier ganz unverändert kurz mitteilen zu sollen, weil derselbe in mancher Beziehung doch noch weiter geht, als die Kannsche Methode.

Potsdam, im März 1904.

(Eingegangen 18. März 1904.)

1) Sollten die 2 Platin-Kontakte das Quadranten-Elektrometer zu sehr stören, so könnte man vielleicht einen Lichtzeiger verwenden, welcher auf eine cylindrische Selenzelle fällt; ein durch letztere hindurchgesandter Strom wird dann durch den Lichtstrahl verstärkt werden, so dass ein eingeschaltetes Relais einen genügend kräftigen Arbeitsstrom zur Erzielung der beabsichtigten Wirkungen hervorruft.
Es lassen sich übrigens hierfür leicht auch noch andere Methoden ersinnen.

2) Leop. Kann, Selbstregistrierender Apparat zur Messung der Elektrizitätszerstreuung in der Luft. Diese Zeitschr. **2**, 621, 1901.

Über die chemische Wirkung der Kathodenstrahlen.

Von Emil Bose.

In den letzten zwei Jahren habe ich eingehend einen möglichst einfachen Fall der chemischen Wirkung der Kathodenstrahlen der Untersuchung unterzogen mit der speziellen Absicht, zu prüfen, ob die durch die Strahlen bewirkte chemische Umsetzung nach Faradays Gesetz als rein elektrochemische Wirkung erfolge oder nicht. Es wurde in einer geeigneten Versuchsanordnung, welche das intensive Bestrahlen einer grösseren Elektrolytoberfläche (ca. 200 qcm) ohne innere Elektroden im Vakuum gestattete, heissgesättigte Ätzkalilösung lange Zeit der Wirkung der Kathodenstrahlen ausgesetzt. Es fand Reduktion unter Bildung von Wasserstoff statt. Die von dem Elektrolyten aufgenommene Elektrizitätsmenge wurde mit Hilfe eines Wasserstoffvoltameters unter vermindertem Drucke gemessen. Die Ableitung dieser Elektrizitätsmenge geschah durch eine im Elektrolyten befindliche, in den Boden des Versuchsgefässes eingeschmolzene Platinelektrode oder, um jede innere Elektrode zu vermeiden, mit Hilfe des Warburgschen Kunstgriffes durch das Glas. Der im Vakuum vorhandene Wasserdampf, in welchem die Entladungen stattfanden, wurde teilweise dissoziiert in Wasserstoff und Sauerstoff, so dass mittels der Quecksilberluftpumpe stets ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff herausgepumpt wurde, in welchem ersteres Gas im Überschuss vorhanden war. Durch Explosion wurde nun das Knallgas entfernt und der Wasserstoffüberschuss gelangte zur Messung. Durch Hinzusetzen von überschüssigem Sauerstoff und nochmalige Explosion liess sich die Reinheit des erhaltenen Wasserstoffes feststellen.

Erfolgte nun die chemische Wirkung der Kathodenstrahlen nach Faradays Gesetz, war dieselbe also eine rein elektrochemische Wirkung, so musste ich aus dem Vakuum heraus ebensoviel Wasserstoff erhalten, wie im Voltameter entwickelt wurde. Auf eine erhebliche Genauigkeit war natürlich keinenfalls zu hoffen, da bisweilen schon der qualitative Nachweis einer chemischen Einwirkung der Kathodenstrahlen mit Schwierigkeiten verbunden ist und die Elektrizitätsmengen, welche in Frage kamen, stets recht klein waren (um 1 Coulomb herum

bei Versuchen von einer Dauer bis zu mehreren Tagen]. Aber das Resultat aller Versuche fiel ganz anders aus, als ich ursprünglich gedacht hatte. Der im Vakuum entwickelte Wasserstoff betrug stets viele Male mehr als gleichzeitig im Voltameter erhalten wurde. Es wurde das 10—30- und mehrfache an Wasserstoff aus dem Vakuum erhalten gegenüber der voltametrischen Wasserstoffmenge. Dieses stets wiederkehrende Resultat zeigt deutlich, dass ausser der elektrochemischen Wirkung nach Faradays Gesetz, die ja wohl zweifellos vorhanden sein wird, noch eine andere chemische Wirkung der Kathodenstrahlen vorhanden sein muss. Dass dieser zweite Effekt der kinetischen Energie der Kathodenstrahlteilchen seinen Ursprung verdankt, erscheint wohl von vornherein plausibel und in der That zeigt die Rechnung, dass die kinetische Energie eines Kathodenstrahles in der That ausreicht, um einen sehr viele Male grösseren chemischen Effekt hervorzubringen, als der mitgeführten Elektrizitätsmenge entspricht. Nehmen wir an, dass die von einem Kathodenstrahl transportierte Elektrizitätsmenge gerade 1 Coulomb betrage, so stellt dies eine elektrochemische Wasserstoffabscheidung von 0,116 ccm Wasserstoff dar, die ein Gewicht von $1{,}04 \cdot 10^{-5}$ gr besitzen. Nehmen wir die Masse der Kathodenstrahlteilchen zu $^1/_{2000}$ derjenigen von Wasserstoffatomen an, so ergiebt das für das Gewicht der vom Kathodenstrahl transportierten Elektronen $0{,}52 \cdot 10^{-8}$ gr. Für die Geschwindigkeit des Kathodenstrahles wollen wir den Wert 30 000 km/sek ansetzen, also $3 \cdot 10^7$ m/sek, dann ergiebt sich die vom Strahl transportierte kinetische Energie zu:

$$\frac{1}{2} \cdot 0{,}52 \cdot 10^{-8} \cdot 9 \cdot 10^{14} \text{ kgm} = 239 \text{ kgm}.$$
$$9{,}81 \cdot 1000$$

Um diese Energiemenge umrechnen zu können auf den maximal möglichen chemischen Effekt, d. h. auf denjenigen chemischen Effekt, welcher hervorgebracht werden könnte, wenn alle Energie zur Dissoziierung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff verwendet werden würde, nehmen wir an, dass diese Dissoziierung nur auf dem Wege über die Wärme stattfinde, dann können wir, es handelt sich ja immerhin nur um einen Näherungswert, die Rechnung mit Hilfe der Bildungswärme des Wassers ausführen. Die oben berechnete Energiemenge würde alsdann eine Wasserstoffmenge von

$$\frac{239}{427} \cdot \frac{1}{33{,}76} \text{ gr Äquivalenten ergeben.}$$

Dies entspricht einer Wasserstoffmenge von 186 ccm, also dem ca. 1600 fachen der elektrochemischen Wasserstoffmenge. Es zeigt sich damit, dass die mechanische Energie der Kathodenstrahlen befähigt ist, im günstigen Falle ungeheuer viel grössere chemische Wirkungen auszuüben, als es der mitgeführten Elektrizitätsmenge entspricht. Nun wird praktisch die Sache in weitaus den meisten Fällen so liegen, dass der überwiegend grössere Teil der kinetischen Energie der Kathodenstrahlen einfach in Wärme umgesetzt wird. Die reichliche Knallgasentwickelung im Vakuum wird aber jedenfalls schon ein Teil dieser dynamisch-chemischen Wirkung der Kathodenstrahlen sein. Ein weiterer Teil dieser Wirkung findet nun innerhalb des Elektrolyten statt, und diesem letzteren ist, wie aus meinen Versuchen hervorging, jedenfalls der grosse Wasserstoffüberschuss zu verdanken, welcher bei allen Versuchen erhalten wurde und zwar übereinstimmend auch nachdem die ganze Anordnung mehr als ein halbes Jahr dauernd evakuiert gestanden hatte und eine grosse Reihe von Versuchen ausgeführt waren. Weshalb man aber von dieser Dissoziationswirkung der Strahlen nur den Wasserstoff zu sehen bekam und nicht den gleichzeitig entstandenen Sauerstoff, das erklärt sich einfach aus der grösseren Löslichkeit und der sehr viel kleineren Evasionsgeschwindigkeit des Sauerstoffs, der dadurch zunächst zu einem erheblich grösseren Teile im Elektrolyten zurückgehalten wurde. Die Gegenprobe auf diese Auffassung, dass nämlich in der That der fehlende Sauerstoff im Elektrolyten steckte, liess sich ebenfalls erhalten und es wurde wiederholt beobachtet, dass bei längerem Warten nach einem Versuch Sauerstoff im Vakuum frei wurde. Einmal wurde nach längerem Versuch auch spontan eine erhebliche Entwickelung von Sauerstoff beobachtet, was den Eindruck erweckte, als ob eine Übersättigungserscheinung ausgelöst würde. Es zeigte alsdann schon die veränderte Farbe der Entladungen, besonders aber die Untersuchung des aus dem Vakuum aufgefangenen Gases, dass nachträglich Sauerstoff entwickelt worden war. Wurde nun längere Zeit ohne Entladungen wieder ausgepumpt und der Apparat alsdann sich selbst überlassen, so bewiesen die Erfahrungen von mehreren unfreiwilligen Pausen, deren eine etwa 3 Monate dauerte, dass sich das Vakuum im Apparat durchaus auf der alten Höhe erhielt, dass also der beobachtete Effekt der nachträglichen Sauerstoffentwickelung nicht etwa irgendeiner Undichtigkeit zuzuschreiben war.

Diese Resultate gestatten nun eine Vermittelung zwischen den verschiedenen Auffassungen über die Wirkung der Kathodenstrahlen. Den Lesern dieser Zeitschrift ist die Litteratur über diese Fragen genugsam bekannt, auch findet sie sich mit grosser Vollständigkeit in den Arbeiten von Eilhard Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) und von G. C. Schmidt[2])

1) Wied. Ann. **64**, 78, 1898.
2) Ann. d. Phys. **7**, 321, 1902.

zusammengestellt. Fasst man die Resultate über die chemische Wirkung der Kathodenstrahlen zusammen, so liegt die Sache etwa folgendermassen.

Einerseits ist völlig einwandsfrei der Nachweis erbracht, dass Kathodenstrahlen chemische Wirkungen auszuüben imstande sind; namentlich ist G. C. Schmidt dieser Nachweis zu danken. Andererseits werden in Fällen, wo sichtbare Veränderungen der bestrahlten Präparate vorliegen, die chemischen Wirkungen geleugnet und physikalische Umlagerungen etwa in andere Modifikationen als Grund der Veränderungen angesehen. Diese Ansicht ist zum Beispiel von Abegg[1]) ausgesprochen worden, der bei den Alkalihaloiden die chemischen Veränderungen nicht nachzuweisen vermochte und zeigte, dass dieselben beliebig viele Male durch Kathodenstrahlen selbst, wenn sie nur genügend kräftige Hitzewirkung entfalten, rückgängig gemacht werden können. Zwischen diesen extremen Anschauungen, welche sich bisher unvermittelt gegenüberstehen, lässt sich nun meines Erachtens nach dem Vorhergehenden vermitteln, die bestehende Kluft überbrücken. Diejenigen chemischen Wirkungen, welche völlig einwandsfrei als solche nachgewiesen sind, werden sehr wahrscheinlich bedingt sein durch die von den Strahlen mitgeführte Elektrizitätsmenge. Die zweifellos chemische Wirkung der Kathodenstrahlen ist also eine elektrochemische Wirkung, eine Auffassung, welche sich auch mit der von G. C. Schmidt ausgesprochenen Ansicht ziemlich deckt. Diejenigen Wirkungen aber, welche als chemische nicht in jedem Falle nachgewiesen werden, oder durch die Hitzewirkung der Strahlen wieder rückgängig gemacht werden können, wie die Färbungen der Alkalihaloide, sind Dissoziationswirkungen der Strahlen. Es ist dabei durchaus offen zu lassen, ob etwa das durch Dissoziation des Chlornatriummoleküles freigewordene Natriumatom als solches vorhanden bleibt, wie Elster und Geitel annehmen, oder ob Subchloridbildung eintritt, wie von G. C. Schmidt angenommen wird. Charakteristisch ist hierbei, dass im Falle der Alkalichloride am freiesten beweglich das Chlor ist und dass man also Chlor im Gasraum erhalten kann, während in dem von mir untersuchten Falle der Wasserstoff, also das positive Radikal, das für das Entweichen begünstigtere ist und demgemäss die grossen Wasserstoffüberschüsse erhalten werden. Es wird also von den Dissoziationsprodukten, die im Innern des Elektrolyten frei nebeneinander nach der gewaltsamen mechanischen Trennung existieren, immer dasjenige im Überschuss in den Gasraum gelangen, welches am leichtesten beweglich ist. Bleiben beide Radikale fast vollständig im Innern des Salzes erhalten, so kann der überwiegend grösste Teil der Einwirkung durch Erwärmen bis auf eine zur Wiedervereinigung ausreichende Temperatur wieder rückgängig gemacht werden. Da dieser dynamisch-chemische Effekt sehr viel grösser ist als der elektrochemische, so konnte es hierdurch zu Zweifeln an einer chemischen Wirkung überhaupt kommen. Ich glaube, dass im wesentlichen die hier entwickelte Auffassung ausreichen wird, die in der Litteratur über die chemischen Wirkungen der Kathodenstrahlen vorhandenen Widersprüche zu beseitigen und beiden Auffassungen zu ihrem Rechte zu verhelfen.

Ganz analog wird es sich bei den chemischen Wirkungen der Becquerelstrahlen[1]) verhalten, bei denen nur wegen der höheren lebendigen Kraft der dynamische Effekt noch erheblich mehr überwiegen wird. Die Glasfärbungen, welche mit Becquerelstrahlen erhalten werden, sind meiner Auffassung nach durchaus analog den Färbungen der Alkalihaloide, die übrigens mit Becquerelstrahlen ebenso wie mit Kathodenstrahlen erhalten worden sind. Beim Glase tritt dann bekanntlich beim Erwärmen auf etwa 500 Grad ebenfalls das Verschwinden der Erscheinung ein, indem sich die getrennten Radikale und zwar unter Lichterscheinung wieder miteinander vereinigen. Es handelt sich also hier um durchaus verwandte Erscheinungen und die für die Kathodenstrahlen ausgesprochene Auffassung gilt stets in analoger Weise auch für die Becquerelstrahlen.

Nun steht zu erwarten, dass, wenn man zu immer langsameren Kathodenstrahlen übergeht, die ja neuerdings ebenfalls erhalten worden sind, die dynamisch-chemische Wirkung immer mehr in den Hintergrund treten wird, und dass man dann eine rein elektrochemische Wirkung der Strahlen wird beobachten können. Möglicherweise eignen sich auch noch andere Entladungsformen in Gasen zum Studium der elektrochemischen Wirkungen der Elektronen und man kann dann zur Ausarbeitung einer Elektrochemie ohne metallische Elektroden übergehen. Für die Elektrochemie selbst dürfte dann allein schon der Nachweis interessant sein, dass eine unangreifbare Kathode im Grunde nicht anders wirkt, wie als eine Quelle negativer Elektronen, dass sie also in gewisser Hinsicht ersetzt werden kann durch eine freie Elektrolytoberfläche, der wir auf irgendeine beliebige andere Weise negative Elektronen zuführen.

1) Wied. Ann. **62**, 425, 1897.

1) Vgl. K. Schaum, Ztschr. f. wiss. Photographie etc. **2**, 48, 1904.

(Eingegangen 20. Mai 1904.)

Lamellare Doppelbrechung.

Von Otto Wiener.

Der kürzlich in dieser Zeitschrift erschienene Aufsatz von Braun „Herstellung doppeltbrechender Körper aus isotropen Bestandteilen“ [1]) veranlasst mich, über eine Arbeit hier Mitteilung zu machen, über welche ich vor etwa 1 3/4 Jahren unter dem Titel „Zur Theorie des optischen Verhaltens von Mischkörpern mit geschichtetem Bau“ in der Kgl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften vorgetragen habe [2]), die aber aus verschiedenen Gründen noch nicht druckfertig geworden ist. Zugleich benutze ich die Gelegenheit, mich zu der von Braun aufgeworfenen Frage der Tragweite allgemeinerer Theorien der Doppelbrechung durch anisotrope Anordnung isotroper Bestandteile zu äussern.

1. Ergebnisse der Theorie der lamellaren Doppelbrechung.

Meine Arbeit bezieht sich auf einen besonderen Fall der von Braun betrachteten Art von Doppelbrechung. Sie behandelt nämlich die Theorie eines Körpers, der aus zwei Stoffen von verschiedenem Brechungsexponenten, beziehungsweise verschiedener Dielektrizitätskonstante besteht, die in parallelen Schichten jeweils konstanter und im Vergleich zur Lichtwellenlänge kleinen Dicke miteinander abwechseln. Es ist das zugleich der Fall, auf den ausschliesslich sich die von Braun mitgeteilten Experimente beziehen.

Veranlassung, mich mit diesem Gegenstand zu beschäftigen, war die Frage nach der optischen Natur des Niederschlages in entwickelten Lippmannschen Schichten, bei denen ich selbst in Abwesenheit stehender Lichtwellen lamellaren Bau vermutet hatte. Allerdings fand später Herr Kirchner [3]), der die experimentelle Untersuchung übernommen hatte, dass diese Vermutung nicht zutraf.

Ich hatte ursprünglich nur nach der optischen Mischungsregel für geschichtete Körper gesucht. Aber die theoretische Untersuchung, welche sich bei der Einfachheit der Verhältnisse in Strenge durchführen lässt, ergab alsbald, dass bei schiefem Einfall der scheinbare Mischungsbrechungsexponent ein anderer ist für Wellen, deren Polarisationsebene die Achse des Schichtkörpers enthält als für die senkrecht zu jenen polarisierten Wellen, und zwar genauer: dass der Schichtkörper sich gerade so verhält wie ein optisch einachsiger Krystall, dessen optische Achse senkrecht steht zu den Grenzebenen aneinander grenzender Schichten.

Dies Ergebnis schien mir von allgemeinerem Interesse, unter anderem auch hinsichtlich seiner Anwendung auf Mischkrystalle.

Bezeichnet n_1 und n_2 den Brechungsexponenten der beiden Arten von Schichten und δ_1 und δ_2 das Verhältnis der konstanten Dicken der miteinander abwechselnden Schichten zur Summe der Dicken zweier solchen Schichten, so dass also:

$$\delta_1 + \delta_2 = 1 \tag{1}$$

dann ergab sich für den Brechungsexponenten des ordentlichen Strahles der Wert n_o und der für den Hauptbrechungsexponenten des ausserordentlichen Strahles der Wert n_a nach den folgenden Formeln:

$$n_0^2 = \delta_1 n_1^2 + \delta_2 n^2_2 \tag{2}$$

$$\frac{1}{n_a^2} = \frac{\delta_1}{n_1^2} + \frac{\delta_2}{n_2^2} \tag{3}$$

Bei dem beliebigen Neigungswinkel φ der Wellennormale berechnet sich der scheinbare Brechungsexponent für den ausserordentlichen Strahl nach der Formel:

$$\frac{1}{n^2} = \frac{\cos^2\varphi}{n^2_o} + \frac{\sin^2\varphi}{n^2_a}, \tag{4}$$

also genau wie bei den optisch einachsigen Krystallen.

2. Anwendung der Theorie auf Mischkrystalle.

Nach Fertigstellung der Theorie erfuhr ich durch die Freundlichkeit meines Kollegen F. Zirkel, dass bereits Biot die merkwürdige Doppelbrechung gewisser Alaune, die zum regulären System gehören, durch die Wirkung eines lamellaren Baues zu erklären versucht hatte. [1]) Thatsächlich erklärt Biot allerdings, dem Titel seiner Arbeit entsprechend, nur lamellare Polarisation, nicht lamellare Doppelbrechung. [2]) Er beschränkt sich nur auf den Hinweis der Analogie der Schichtkrystalle mit einem polarisierenden Glasplattensatz und ist sich dessen bewusst, dass er den Beweis für die Verschiedenheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit verschieden polarisierter Strahlen schuldig bleibt. [3])

Da nun die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen der Doppelbrechung bei regulären Krystallen lehrte, dass die Biotsche Erklärung

1) F. Braun, diese Zeitschrift **5**, 199, 1904.

2) Leipziger Berichte **54**, 282, 1902; daselbst ist nur der obige Titel des Vortrags angegeben.

3) F. Kirchner, „Über die optischen Eigenschaften entwickelter Lippmannscher Emulsionen,“ Ann. d. Phys. **13**, 251, 1904; auch Leipziger Dissertation S. 17, 1903.

1) Biot, „Mémoire sur la polarisation lamellaire“, Mém. de l'acad. roy. des sciences de l'instit. de France, **18**, 539, 1842.

2) Man würde vielleicht besser sagen „Doppelbrechung durch Schichtung“, doch habe ich mit Rücksicht auf die Biotsche Untersuchung obigen Ausdruck gewählt.

3) l. c. S. 571.

doch nicht ausreichte, haben die Mineralogen sie zuletzt ganz verworfen. So spricht Brauns in seiner diesen Gegenstand ausführlicher behandelnden Jablonowskischen Preisschrift über „die optischen Anomalien der Krystalle“[1] von der Biotschen Lehre als von einer, „die jetzt mit Recht verlassen ist.“[2] Brauns macht es sehr wahrscheinlich, dass bei Mischkrystallen die Doppelbrechung zu ihrem grössten Betrage herrührt von Spannungen, welche durch die Einlagerung isomorpher Beimischungen zur Grundsubstanz bedingt seien. Dass thatsächlich solche Spannungen, d. h. zwischen den wägbaren Bestandteilen des Krystalls wirkende Kräfte, vorkommen, beweist der Umstand, dass die Mischkrystalle oft während des Wachstums plötzlich zerspringen.[3])

Demgegenüber erschien mir daher die Feststellung von Wert, dass selbst im Falle der Abwesenheit jeglicher Spannungen und sonstiger Anisotropie der Bestandteile allein durch geschichteten Aufbau ein Körper die Eigenschaft der Doppelbrechung erwerben kann, und dass also in den Anschauungen von Biot ein wahrer Kern enthalten ist.

Eine andere Frage ist es freilich, welche Fälle optischer Anomalien der Krystalle auf lamellare Doppelbrechung zurückgeführt werden können. Es scheinen nur wenige zu sein. Die oben mitgeteilten Formeln ergeben nämlich, solange wenigstens Absorption ausgeschlossen ist, n_o stets grösser als n_a, d. h. negative Doppelbrechung, während die von Brauns untersuchten Mischkrystalle zum grössten Teil positiv optisch einachsig sind.[4]) Dagegen könnte die Doppelbrechung der optisch negativen Mischkrystalle von Ammonium-Aluminiumalaun + Kalium-Aluminiumalaun wohl durch lamellare Doppelbrechung zu erklären sein. Die Krystalle erscheinen nach Brauns[5]) in Dicken von $^1/_2$ cm zwischen gekreuzten Nikols im Graublau erster Ordnung, zeigen also sehr geringe Doppelbrechung. Nun ist der Unterschied der Brechungsexponenten für Natriumlicht nach Soret[6]) 0,0029, nach Grailich[6]) 0,0075 bei einem mittleren Brechungsexponenten von $n = 1{,}46$. Bei so kleinen Unterschieden $\Delta = n_1 - n_2$ der Brechungsexponenten berechnet sich der Unterschied $n_o - n_a$ nach der Formel:

$$n_o - n_a = \frac{2\,\Delta^2}{n}\,\delta_1\delta_2 \qquad (5)$$

d. h. von der zweiten Ordnung klein, wenn Δ von der ersten Ordnung klein ist. Für gleiche Dicken der Schichten, $\delta_1 = \delta_2 = {}^1/_2$ wird:

$$n_o - n_a = \frac{\Delta^2}{2n}.$$

Daraus berechnen sich Unterschiede $n_o - n_a =$ 0,000003 bis 0,000019, die bei einer Dicke des Krystalls von 5 mm für Natriumlicht einen maximalen Gangunterschied des ordentlichen und ausserordentlichen Strahles von 0,03 bis 0,16 λ bedingen. Dieser würde genügen, ein Graublau erster Ordnung zu erzeugen. Dass Brauns keinen Unterschied der Doppelbrechung fand für Mischungen der Bestandteile im Verhältnis $^1/_2 : {}^1/_2$ und $^1/_4 : {}^3/_4$ erklärt sich nicht bloss aus dem geringen Betrag der Doppelbrechung, der schwer die Erkennung von Unterschieden zulässt, sondern auch durch den Umstand, dass zufolge obiger Formel der Betrag der Doppelbrechung im zweiten Falle nicht um die Hälfte, sondern nur um den vierten Teil zurückgehen muss gegenüber dem Falle gleichstarker Beteiligung der Bestandteile.

Die Annahme lamellarer Struktur bei diesen Krystallen gewinnt dadurch an Wahrscheinlichkeit, dass Biot[1]) diese Struktur schon an ihrem Aussehen zu erkennen glaubte. Auch wäre das abwechselnde Ankrystallisieren der beiden Bestandteile während des Wachstums der Mischkrystalle nicht ohne Analogien. Ich erinnere an Liesegangs[2]) A-Linien, welche in kaliumbichromathaltiger Gelatine durch einen Diffusionsstrom von Silbernitrat entstehen, indem sich infolge abwechselnder Über- und Untersättigung das Silberbichromat periodisch in Streifen ausscheidet.[3])

3. Erweiterung der Theorie.

Ich hatte in dem Vortrag vor der Königl. Sächsischen Gesellschaft nur den Fall behandelt, dass die Oberfläche des Schichtkörpers parallel zu den Schichten verlaufe, habe aber später den Beweis nachgeholt, dass auch dann, wenn die Oberfläche einen beliebigen Winkel mit den Grenzebenen der Schichten bildet, der Mischkörper sich immer noch wie ein optisch einachsiger Krystall verhält, vorausgesetzt, dass er gegenüber den angewandten experimentellen Untersuchungsmethoden homogen erscheint.

Ich habe ferner, gleichfalls vor dem Erscheinen der Braunschen Arbeit, das elektrostatische Verhalten eines solchen Mischkörpers untersucht. Dabei ergeben sich die beiden Hauptdielektrizitätskonstanten des anscheinend

1) R. Brauns, Preisschriften der Fürstlich Jablonowskischen Gesellschaft zu Leipzig 1891.
2) l. c. S. 19.
3) l. c. S. 255.
4) l. c. S. 229.
5) l. c. S. 230.
6) Tabellen von Landolt und Börnstein. 2. Aufl. S. 391, 1894.

1) Biot, l. c. S. 551.
2) Liesegang, Liesegangs photograph. Archiv, S. 321, 1896.
3) Ostwalds Referat, Zeitschr. f. phys. Chem. **23**, 365, 1897.

homogenen Mischkörpers ohne weiteres aus den Grenzbedingungen und den Energiegleichungen.

Sei die Oberfläche des Mischkörpers parallel zu den Grenzflächen der Schichten, so lauten, falls die elektrischen Kräfte X, X_1, X_2, X_m in Luft, dem ersten, dem zweiten Bestandteil des Mischkörpers und dem einheitlichen Körper, der den Mischkörper in seinen elektrischen Eigenschaften vertritt, gleichfalls der Oberfläche parallel laufen, die Grenzbedingungen:

$$X = X_1 = X_2 = X_m.$$

Soll der Ersatzkörper mit der Dielektrizitätskonstanten ε_a die gleiche elektrische Energie aufnehmen wie der Mischkörper, so muss ferner sein:

$$\delta_1 \varepsilon_1 X_1^2 + \delta_2 \varepsilon_2 X_2^2 = \varepsilon_a X_m.$$

Daraus ergiebt sich:

$$\varepsilon_a = \delta_1 \varepsilon_1 + \delta_2 \varepsilon_2. \qquad (6)$$

Verlaufen aber die — in der Bezeichnung durch einen Strich von den vorigen unterschiedenen — elektrischen Kräfte senkrecht zur Oberfläche, und bezeichnet man die Dielektrizitätskonstante des Ersatzkörpers in diesem Falle mit ε'_a, so lauten Grenzbedingungen und Energiegleichung jetzt so:

$$X' = \varepsilon_1 X'_1 = \varepsilon_2 X'_2 = \varepsilon_a X'_m$$
$$\delta_1 \varepsilon_1 X'^2_1 + \delta_2 \varepsilon_2 X'^2_2 = \varepsilon_a X'^2_m.$$

Daraus ergiebt sich:

$$\frac{1}{\varepsilon_a} = \frac{\delta_1}{\varepsilon_1} + \frac{\delta_2}{\varepsilon_2}. \qquad (7)$$

Dass der Mischkörper sich elektrostatisch auch dann wie ein optisch einachsiger Krystall verhält, wenn die elektrischen Kräfte einen beliebigen Winkel mit den Grenzebenen bilden, ist leicht zu beweisen und mit Hilfe gewisser Integralsätze auch in dem Falle, dass die Körperoberfläche einen Winkel mit den Grenzebenen der Schichten bildet.

Wie man sieht, stimmen die Gleichungen (6) und (7) mit Rücksicht auf die Maxwellsche Beziehung zwischen Brechungsexponenten und Dielektrizitätskonstanten genau mit den für die optischen Erscheinungen bewiesenen Gleichungen (2) und (3) überein.

Man könnte danach auf den Gedanken kommen, dass die nicht ganz so einfache optische Theorie überflüssig wäre. Wenn man sich indes klar macht, dass eine Welle an jeder Grenzfläche der Schichten nicht nur eine Brechung sondern auch eine Reflexion erfahren muss, während in einem homogenen Körper keine solchen inneren reflektierten Wellen zustande kommen, sofern es sich um eine von aussen eingedrungene Welle handelt, so erkennt man, dass es doch einer genaueren Erörterung bedarf, warum und in welchem Grad der Annäherung an die Wirklichkeit sich trotzdem der Mischkörper wie ein einheitlicher Körper verhalten kann, und dass der Maxwellsche Satz für Mischkörper nicht ohne weiteres als richtig angenommen werden darf, vielmehr eines besonderen Beweises erst bedarf.

Die Art des optischen Beweises gestattet zugleich die gewonnenen Formeln anzuwenden auf den Fall, dass beide Bestandteile beträchtliche Absorption besitzen, indem man den reellen durch den komplexen Brechungsexponenten ersetzt, d. h. statt der Grössen n jeweils die Grössen $n - i k$ einführt. Dabei bedeutet k den Absorptionskoeffizienten, der in der Formel $e^{-\frac{2\pi k d}{\lambda}}$ die Abnahme der Amplitude darstellt, wenn λ die Wellenlänge in Luft, d die Dicke der durchstrahlten absorbierenden Schicht bedeutet. Durch Einführung der komplexen Brechungsexponenten in die Formeln (2) und (3) und Trennung des Reellen vom Imaginären erhält man für den Brechungs- und Absorptionskoeffizienten des ordentlichen und ausserordentlichen Strahles die folgenden Formelpaare:

$$\left.\begin{aligned} n_0^2 - k_0^2 &= \delta_1 (n_1^2 - k_1^2) + \delta_2 (n_2^2 - k_2^2) \\ n_0 k_0 &= \delta_1 n_1 k_1 + \delta_2 n_2 k_2 \end{aligned}\right| \qquad (8)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{n_a^2 - k_a^2}{(n_a^2 + k_a^2)^2} &= \delta_1 \frac{n_1^2 - k_1^2}{(n_1^2 + k_1^2)^2} + \delta_2 \frac{n_2^2 - k_2^2}{(n_2^2 + k_2^2)^2} \\ \frac{n_a k_a}{(n_a^2 + k_a^2)^2} &= \delta_1 \frac{n_1 k_1}{(n_1^2 + k_1^2)^2} + \delta_2 \frac{n_2 k_2}{(n_2^2 + k_2^2)^2} \end{aligned}\right| \qquad (9)$$

Aus diesen Formeln folgt, dass und in welchem Grade in verschiedener Richtung polarisierte Strahlen verschieden stark absorbiert werden in einem Körper, der entstanden ist durch den geschichteten Aufbau aus Bestandteilen, die isotrop absorbieren.

4. Geplante experimentelle Prüfungen der Theorie.

Eine Untersuchung zur experimentellen Prüfung der Theorie hat auf optischem Gebiete Herr J. Friedel schon vor längerer Zeit im hiesigen physikalischen Institut auf meine Veranlassung begonnen. Sie ist aber wegen der grossen experimentellen Schwierigkeiten der geplanten Art der Herstellung von geschichteten Körpern noch nicht so weit gefördert, dass hier schon darüber berichtet werden könnte.

Auf meinem Programm stand noch die elektrostatische, beziehungsweise auf dem Gebiete der elektrischen Wellen liegende Prüfung, wobei der Schichtkörper aus abwechselnden Glasplatten und gleichdicken Wasserschichten bestehen sollte. Es ist zu erwarten für eine Glassorte mit $\varepsilon_1 = 4$, da für Wasser $\varepsilon_2 = 81$: $\varepsilon_0 = 42{,}5$, $\varepsilon_a = 7{,}6$. Für eine Glassorte mit $\varepsilon_1 = 6$ ergäbe sich $\varepsilon_0 = 43{,}5$, $\varepsilon_a = 11{,}2$ d. h. sehr grosse Unterschiede der Hauptdielektrizitätskonstanten.

Dieser Teil der geplanten Untersuchungen ist nunmehr, soweit es sich um qualitative Feststellung der Thatsachen handelt, bereits durch die schönen Braunschen Versuche erledigt. Er fand auch verhältnismässig grosse Unterschiede der Hauptdielektrizitätskonstanten. Doch darf dies Ergebnis nicht verallgemeinert werden, da bei kleinen Unterschieden der Dielektrizitätskonstanten der Bestandteile der Unterschied der Hauptdielektrizitätskonstanten des Mischkörpers, wie in Abschnitt 2 gezeigt wurde, von der zweiten Ordnung klein wird.

5. Die Lampaschen Theorien.

Die theoretische Behandlung des allgemeinen Falles, den Braun im Auge hat, wobei die Anordnung der isotropen Bestandteile in drei aufeinander senkrechten Achsen eine verschiedene ist, lässt sich nicht mit der gleichen Leichtigkeit ausführen wie die der lamellaren Anordnung, zum mindesten nicht dann, wenn man an der Forderung festhalten will, dass die Abmessungen der beiden Bestandteile in endlichem Verhältnis zueinander stehen. Denn in diesem Falle werden die Kraftlinien in keinem Raumelement gleichförmig verlaufen, dessen Abmessungen in endlichem Verhältnis zu den Abmessungen der dem Aufbau zu Grunde liegenden Elemente stehen, selbst dann nicht, wenn diese Elemente Kugelform haben sollten. Wollte man von dieser Forderung absehen, so liessen sich die Theorien von Lampa, die mir erst durch den Aufsatz von Braun bekannt wurden, ohne weiteres auf den Fall der anisotropen Anordnung isotroper Dielektrika anwenden. Lampa behandelt nämlich den Fall anisotroper Anordnung kleiner Leiter, indem er das eine Mal [1]) diesen die Form von dreiachsigen Ellipsoiden giebt, deren Mittelpunkte in einem kubischen Raumgitter angeordnet sind, das andere Mal [2]) sie aus Kugeln bestehen lässt, deren Mittelpunkte aber in drei aufeinander senkrechten Richtungen verschiedene Abstände besitzen. Der Übergang vom Leiter zum Dielektrikum kann aber dadurch bewerkstelligt werden, dass bei gleicher Normalkomponente an einer Grenzfläche die an dieser induzierte Belegung sich im Verhältnis $(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/\varepsilon_2$ ändert, wenn an ein Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstanten ε_1 ein zweites ebensolches mit der Dielektrizitätskonstanten ε_2 statt eines Leiters angrenzt. [3])

Die Berechtigung der Anwendung der Lampaschen Theorie wird aber gerade in dem Falle zweifelhaft, der praktisch von besonderer Wichtigkeit ist, nämlich dann, wenn eben entsprechende Abmessungen der beiden Bestandteile in endlichem Verhältnis zueinander stehen. Denn Lampa sieht sich zur Durchführung seiner Rechnungen genötigt, Ellipsoide und Kugeln als in gleichförmigem Felde befindlich zu behandeln, was streng genommen nur zuträfe, wenn beide unendlich klein im Verhältnis zu den Abständen ihrer Mittelpunkte wären, d. h. wenn der Einfluss der eingebetteten Leiter überhaupt verschwände.

Leider scheint der Einfluss dieser Vereinfachung der Theorie ziemlich gross zu sein. Denn für den Fall der ungleich verteilten Kugeln wird die Lampasche Theorie geradezu unrichtig. Denn wenn auch die Kugeln so behandelt werden, als ob sie sich im gleichförmigen Felde befänden, so wird die durch die Anwesenheit der Kugeln bedingte Energieänderung des elektrischen Feldes unabhängig von der Richtung der Kraftlinien und damit auch die scheinbare Dielektrizitätskonstante von der Richtung des Feldes unabhängig, d. h. der Körper muss isotrop erscheinen. Erst wenn man die Kugeln so nahe aneinander rückt, dass sie sich gegenseitig elektrisch beeinflussen können, wird, wenn die Entfernung der Kugelmittelpunkte in drei aufeinander senkrechten Richtungen verschieden gross ist, Energieänderung und scheinbare Dielektrizitätskonstante von der Richtung des Feldes abhängig. Diesen Weg hat aber Lampa nicht eingeschlagen. Er erreicht vielmehr die gewünschte Anisotropie dadurch, dass er, wenn a, b, c, die Zahl der Kugeln auf der Längeneinheit in Richtung der x-, y-, z-Achse bedeutet, die durch ein der x-, y-, z-Achse paralleles Feld auf den Kugeln induzierten elektrischen Dichten proportional setzt mit a^3, b^3, c^3. Die Überlegung, welche zu diesem Ansatze führt, ist nicht frei von Willkür und würde bei einer kleinen Abänderung auch zu einem anderen Ergebnis führen können. D. h. es gelingt zwar auf diese Weise, in der Rechnung scheinbare Anisotropie zu erzeugen, ja sogar zu einem Ansatze zu gelangen, welcher dem der ersten Theorie analog ist, aber die darin vorkommenden Konstanten haben wesentlich verschiedene Bedeutung und hängen von den zwischen den Teilchen gelassenen Zwischenräumen in verschiedener Weise ab, und es bleibt zweifelhaft, ob die gefundene Anisotropie in ihrer Abhängigkeit von den Abmessungen der Teilchen und ihren Zwischenräumen diejenige ist, welche das Experiment ergeben würde, wenn man die Kugeln in die Beeinflussungsnähe bringen würde, die erforderlich ist, um überhaupt scheinbare Anisotropie zu bekommen.

Nun prüfte allerdings Lampa seine Formel durch die Messung der Dielektrizitätskonstante einer Kautschukplatte in ungespanntem Zustande D_u und in gespanntem Zustande D_ξ, wobei die elektrischen Kraftlinien senkrecht zur Zugrich-

1) Lampa, Wiener Sitzungsberichte **104**, IIa, 681, 1895.
2) Lampa, ebenda **111**, IIa, 982, 1902.
3) E. Cohn, Das elektromagn. Feld. Leipzig, Verlag von Hirzel, 1900, S. 107.

tung verliefen. Die Beobachtungen ergaben $D_u = 2{,}263$, $D_g = 2{,}727$. Nach seiner Theorie berechnete Lampa die letztere Grösse zu 2,747. Leider lief aber bei dieser Rechnung ein Schreibfehler unter, indem die dritte Potenz der Zahl 1,075 gleich 1,4223 gesetzt wurde[1]) statt gleich 1,2423. Rechnet man mit diesem richtigen Werte weiter, so findet man den theoretischen Wert für die Grösse D_g gleich 2,548, der mit dem experimentell gefundenen 2,727 nicht übereinstimmt.

Anders verhält es sich mit der ersten Lampaschen Theorie, bei der er sich dreiachsige Ellipsoide in den Ecken eines kubischen Raumgitters aufgestellt denkt. Es wird hier zwar gleichfalls die Annahme gemacht, dass die Ellipsoide sich nicht gegenseitig beeinflussen, aber es wird doch jedes einzelne Ellipsoid die Kraftlinien und damit zugleich die Dielektrizitätskonstanten in einer von der Richtung des äusseren Feldes abhängigen Weise beeinflussen. Lampa findet hier seine Theorie im Einklang mit den Boltzmannschen Bestimmungen der Dielektrizitätskonstanten des krystallisierten und amorphen Schwefels.

Freilich wird man in diesem Falle, wo die Bausteine des Körpers aus den Krystallmolekeln selbst bestehen, streng genommen nicht mehr von einer Doppelbrechung durch anisotrope Anordnung isotroper Teile reden können. Denn es werden in dem Ergebnis auf dasselbe hinauslaufende oder gleichwertige Annahmen sein, ob man den Molekeln die Gestalt eines dreiachsigen Ellipsoides bei konstanter Dielektrizitätskonstante, oder die Gestalt von Kugeln mit drei Hauptdielektrizitätskonstanten zuweist.

6. Tragweite einer allgemeinen Theorie der Doppelbrechung durch anisotrope Anordnung.

Braun wirft die Frage auf nach der Möglichkeit, verschiedene Arten von Doppelbrechung zurückzuführen auf die Doppelbrechung durch anisotrope Anordnung isotroper Bestandteile. Wenn nun auch bis jetzt noch keine zufriedenstellende allgemeine Theorie über diese Art von Doppelbrechung vorliegt, so bestätigen doch die erste Lampasche und meine Theorie der lamellaren Doppelbrechung die Schlüsse die man aus den folgenden allgemeinen Überlegungen zu ziehen geneigt ist.

Solange nämlich die Abstände der aufbauenden Teilchen gegen die Wellenlänge klein sind, kann diese keinen Einfluss haben auf das Verhalten des Mischkörpers. Die scheinbare Dielektrizitätskonstante oder der scheinbare Brechungsexponent kann also nur Funktion sein von den entsprechenden Konstanten der Teilchen und von deren Abmessungen und Abständen. Dispersion kann also nur insofern eintreten, als den Konstanten der Teilchen solche zukommt. Die Art der Doppelbrechung andererseits kann — sofern die Brechungsexponenten der beiden Bestandteile verschieden sind, was sie sein müssen, wenn der Körper nicht isotrop erscheinen soll — nur von der Anisotropie der Anordnung herrühren. Wenn der Körper daher für eine Farbe optisch einachsig erschiene, müsste er es für alle Farben sein. Ich stimme daher Braun zu, dass die Erscheinung der gekreuzten Dispersion nicht auf Anisotropie der Anordnung zurückgeführt werden kann, selbst wenn den aufbauenden Teilchen Dispersion zukäme. Man wird also im allgemeinen den Molekeln der Krystalle nicht bloss Dispersion, sondern auch Anisotropie zuschreiben müssen. Dafür sprechen noch andere Gründe: die Erscheinung der cirkularen Doppelbrechung gewisser Flüssigkeiten und die von Lehmann gefundene der fliessenden Krystalle. In jener Annahme liegt heute um so weniger eine Schwierigkeit, als man von den neueren Elektronenforschungen her weiss, von wie verwickeltem Bau selbst die einfachsten Molekeln sein müssen.

Man wird also eher die Anordnung oder Form des Krystalles auf die Doppelbrechung der Molekeln — d. h. auf das mit ihr gegebene anisotrope Kraftfeld — als umgekehrt die Doppelbrechung des Krystalles auf die Anordnung isotroper Molekeln zurückzuführen haben. Doch wird man im Auge behalten müssen, dass neben der Anisotropie der Molekeln selbst auch die Anisotropie ihrer Anordnung auf die zur Beobachtung gelangende Doppelbrechung Einfluss hat.

Anders verhält sich die Sachlage, wenn man den Teilchen Drehungen um ihren Mittelpunkt gestattet, ein Bild, von dem Braun auch spricht. Dann werden gewiss die Schwingungen, die Resonanz und die Absorption des Teilchens abhängen von den Richtungsunterschieden der Trägheitsachsen des Teilchens gegenüber der Schwingungsrichtung des Feldes, und damit wird auch Dispersion der optischen Konstanten verbunden sein. Dazu ist freilich zu bemerken, dass die für die Optik massgebenden beweglichen Teilchen, wie es besonders das Zeemansche Phänomen nach H. A. Lorentz gelehrt hat, nur die geringe Trägheit der Elektronen besitzen. Doch wäre es immerhin nicht ausgeschlossen, dass im Gebiete der ultraroten Strahlung die Schwingungen der gröberen den Körper aufbauenden Teilchen, d. h. der Molekeln oder Molekularkomplexe, von Einfluss würden.

In gewissem beschränkten Masse wird man daran denken können, die Doppelbrechung durch Zug und Druck auf Doppelbrechung durch

1) Wiener Ber. l. c. III, 994, 1902.

anisotrope Anordnung zurückzuführen. Dieselbe besitzt nach Wertheim[1]) bei durchsichtigen Körpern eine nur geringe Dispersion, d. h. in erster Annäherung ist der Gangunterschied der beiden polarisierten Komponenten auf einer der jeweiligen Wellenlänge im Körper gleichen Strecke unabhängig von der Farbe. Dementsprechend kennt auch die Neumannsche[2]) Theorie der durch Spannungen erzeugten Doppelbrechung keine Dispersion der Doppelbrechung. Es würde daher auch keine mit der Erfahrung übereinstimmende Theorie möglich sein, welche einem Gesetze der Doppelbrechung durch Anordnung einen mit der Farbe veränderlichen Brechungsexponenten für die Bausteine des Körpers zu Grunde legen wollte. Vielmehr müsste eine von der Dispersion befreite Konstante des Körpers, etwa die Dielektrizitätskonstante für unendlich lange Wellen zu Grunde gelegt werden. Aber auch dann würde eine tiefer eindringende Theorie nicht überflüssig sein, welche die Veränderung der Dielektrizitätskonstanten als die unmittelbare Folge der Veränderung des Kraftfeldes auffasst, welches den Zusammenhalt der Teilchen des Körpers bedingt.

Dass das Wertheimsche Gesetz nicht streng gültig ist, hat neuerdings Pockels[3]) nachgewiesen, der bei Gläsern kleine Beträge der Doppelbrechung in verschiedenem Sinne gefunden hat. Auch hat im hiesigen physikalischen Institut Herr Kämpf[4]), dem es gelang, auch in Metallen Doppelbrechung durch Zug zu erzeugen, bei Silber starke Dispersion der so erzeugten Doppelbrechung gefunden. Diese Erscheinungen fallen dann ganz aus dem Rahmen der durch Doppelbrechung infolge anisotroper Anordnung erklärbaren Thatsachen heraus.

Die wichtigsten Anwendungen der Theorien der Erzeugung von Doppelbrechung durch Anisotropie der Anordnung wird daher im wesentlichen beschränkt bleiben auf diejenigen Fälle, in denen die Voraussetzungen der Theorie wirklich erfüllt sind, d. h. wo die Abmessungen der Bausteine des Körpers von solcher Grösse sind, dass man von einer einheitlichen Dielektrizitätskonstanten sprechen kann. Es bleibt aber dann die Frage zu beantworten, von welchen Abmessungen an das der Fall ist, eine Frage, die natürlich nur das Experiment entscheiden kann. Doch ist Voraussetzung für eine sichere Antwort die Zuverlässigkeit der Theorie. Da diese in dem einfachen Fall der lamellaren Anordnung gewährleistet werden kann, so eignet sie sich besonders zu ihrer Prüfung, deren Reiz gerade in der Erwartung liegt, dass sie für eine bestimmte Feinheit der Verteilung der Schichten nicht mehr bestätigt gefunden wird als Anzeichen dafür, dass die benachbarten Schichten sich in ihren optischen Eigenschaften beeinflussen. Ich denke dabei an eine von Herrn Kirchner[1]) im hiesigen Institut gefundene Farbenänderung von Lippmannschen Schichten, die unter Ausschluss von stehenden Wellen belichtet und entwickelt wurden, eine Farbenänderung, die dadurch zustande kommt, dass die Silberteilchen beim Aufquellen der Gelatine ihren weit unter Wellenlänge grossen Abstand ändern.

7. Beziehung der Lamellartheorie zur Newtonschen Mischungsformel.

Zuletzt sei noch auf eine Eigentümlichkeit der Formel hingewiesen, welche für den ordentlichen Strahl in den scheinbar doppelbrechenden geschichteten Körpern gefunden wurde. Sie stimmt nämlich mit der bekannten Newtonschen Mischungsformel überein. Um das einzusehen, subtrahiere man die Gleichung (1) unter Vertauschung ihrer Seiten von der Gleichung (2), man erhält dann:

$$n_0^2 - 1 = \delta_1 (n_1^2 - 1) + \delta_2 (n_2^2 - 1).$$

Führt man hierin statt der relativen Dicken δ_1, δ_2 zuerst die absoluten Dicken, dann die Volumina ein und drückt diese durch die Massen M, m_1, m_2 und Dichten D, d_1, d_2 des Mischkörpers und seiner Bestandteile aus, so erhält man die Newtonsche Mischungsformel in der bekannten Form:

$$M \frac{n_0^2 - 1}{D} = m_1 \frac{n_1^2 - 1}{d_1} + m_2 \frac{n_2^2 - 1}{d_2}. \quad (10)$$

Bedenkt man nun, dass die Newtonsche Mischungsregel sich bisweilen mit den Beobachtungen in besserer Übereinstimmung findet als die Lorenz-Lorentzsche[2]), so lohnt es sich, die folgenden Erwägungen anzustellen.

Man denke sich einen Körper aufgebaut aus annähernd scheibenförmigen Bestandteilen, jedoch in der Weise, dass die Achsen der Scheiben unregelmässig ohne Bevorzugung einer bestimmten Richtung verteilt seien. Die Voraussetzungen der Lorenz-Lorentzschen Theorie sind dann nicht mehr erfüllt, die Voraussetzung der lamellaren Anordnung auch nicht, aber da das Verhalten jenes gedachten Körpers demjenigen eines Körpers ähnlich sein wird, der aus unregelmässig, ohne Bevorzugung einer bestimmten Richtung gelagerten Schichten besteht, und da ferner der Brechungsexponent des

1) Vergl. Verdet, Opt. phys. **2**, 369, Victor Masson et fils, Ed. Paris 1872.
2) F. Neumann, Pogg. Ann. **54**, 449, 1841.
3) F. Pockels, Ann. d. Phys. **7**, 771, 1902.
4) F. Kämpf, Ber. d. Kgl. Sächs. Ges. d. W. **56**, 123, 1904.

1) F. Kirchner, Ber. d. Kgl. Sächs. Ges. d. W. **54**, 262, 1902; Ann. d. Phys. **12**, 264, 1904.
2) Z. B. bei der Änderung der Dichte durch Zug; s. Pockels, Ann. d. Phys. **7**, 771, 1902.

ordentlichen Strahles auf das Verhalten eines solchen Körpers den bei weitem grössten Einfluss haben muss, so wird die sich ergebende Mischungsformel eine gewisse Annäherung an die Formel (2) bezw. (10) zeigen, und zwar um so mehr, je mehr die aufbauenden Bestandteile in ihrer Form von der Kugel abweichen und sich der Scheibenform nähern. Thatsächlich sind starke Abweichungen von der Kugelgestalt bei den ultramikroskopischen Goldteilchen von Siedentopf und Zsigmondy[1]) beobachtet worden, also in einem Falle, wo man von vornherein keinen Grund zur Annahme der Abweichung von der Kugelgestalt hat.

Mit Rücksicht auf solche Erwägungen dürfte eine Erweiterung der Lorenz-Lorentzschen Theorie anzustreben sein, etwa in der Weise, dass die aufbauenden Bestandteile aus Rotationsellipsoiden, oder auch aus dreiachsigen Ellipsoiden bestehen, deren Achsen gleichmässig im Raume zerstreut sind. Man würde dabei leicht auf der ersten Lampaschen Theorie weiterbauen können. Es würde dann jedem Bestandteil des Mischkörpers noch ein bezw. zwei Formkoeffizienten zukommen, welche aus dem Experiment zu bestimmen wären, so dass die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten bei verschiedenen Dichten oder in verschiedenen Mischungen gewisse Schlüsse auf die Form der aufbauenden Teilchen — Molekeln oder Molekularkomplexe — zuliessen, immer vorausgesetzt, dass noch eine einheitliche Dielektrizitätskonstante der Teilchen angenommen werden darf; allgemeiner gesprochen würde man dann jedenfalls Schlüsse auf die Art der Ungleichförmigkeit des Kraftfeldes in der Nähe dieser Teilchen ziehen können.

1) Siedentopf u. Zsigmondy, Ann. d. Phys. **10**, 36, 1903.

Physikalisches Institut der Universität Leipzig, 26. Mai 1904.

(Eingegangen 27. Mai 1904.)

Einige Beobachtungen am Schlömilch-Wellendetektor für drahtlose Telegraphie.

Von M. Reich.

In der Elektrotechn. Zeitschr. vom 19. November 1903 beschreibt Herr W. Schlömilch einen neuen Detektor für elektrische Wellen: durch eine kleine Zelle mit Platin- oder Goldelektroden in verdünnter Säure fliesse ein schwacher Strom, so dass sich gerade eine zarte Gasentwickelung an den Elektroden einstellt. Ein in den Stromkreis eingeschaltetes Galvanometer zeigt nun eine Verstärkung des Stromes an, sobald die Zelle von elektrischen Wellen getroffen wird, und zwar ist die Verstärkung um so grösser, je kleiner die Oberfläche der Anode ist. Bei den jetzt von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie gebauten Indikatoren besteht die Anode aus einem Draht von 0,001 mm Durchmesser und ca. 0,01 mm Länge. Die Form und Grösse der Kathode spielt keine wesentliche Rolle.

Eine solch kleine Anode lässt sich leicht folgendermassen herstellen: In ein an einer Stelle zu einer Kapillare verengtes Glasrohr zieht man einen möglichst feinen Platindraht ein, lässt die Kapillare auf den Platindraht zusammenschmelzen und kann dann an einer stark erwärmten Stelle den Platindraht im Glase zu grosser Feinheit ausziehen.[1]) An geeigneter Stelle bricht man das Glasstück durch.

Eine Erklärung des physikalischen Vorganges dieser Detektorwirkung giebt Herr Schlömilch nicht an.

Herr Fessenden, welcher in seinem Indikator[2]) den feinen Bolometerdraht durch eine sehr kleine Flüssigkeitssäule ersetzte, ist schliesslich auf fast dieselbe Form, wie die Schlömilchsche gekommen und erklärt die Wirkungsweise dieses Detektors, Baretters genannt, für vollständig analog der des Bolometerdraht-Detektors[3]): Sobald durch die Welle die Flüssigkeitsschicht an der kleinen Elektrode, an welcher sich ja fast der ganze Widerstand konzentriert, etwas erwärmt, also der Widerstand verringert wird, wächst der das Galvanometer durchfliessende Strom entsprechend an.

Bei einer Wiederholung der Versuche zeigte sich, dass beim Auftreffen von Wellen der Strom in der Zelle leicht auf den 10fachen Wert ansteigen kann. Nimmt man auch an, dass sich die Säure, hier Schwefelsäure, an der kleinen Anode bis auf Siedetemperatur erwärmt, — tatsächlich kann man bei intensiven Wellen an der Anode ein winziges Fünkchen beobachten, — so sinkt doch der Widerstand dadurch nicht auf den 10. Teil.[4])

Folgende Beobachtungen scheinen mir ebenfalls gegen die Anschauung von Fessenden zu sprechen: Statt eines ganzen Wellenzuges benutzte ich bei den Versuchen, um genauer definierte Grössen zu haben, nur eine halbe Welle, gebildet durch die nicht oszillatorische Entladung eines Kondensators. Erfolgt die Entladung durch die Zelle in Richtung des konstanten Stromes, so dass also auch für die Entladung die kleine Elektrode Anode ist, so ist der Ausschlag des Galvanometers klein. Erfolgt die Entladung jedoch im umgekehrten Sinne, so ist der Ausschlag gross und zwar sehr viel grösser, als wenn der Kondensator

1) E. Bose, Schlesische Gesellschaft für vaterländische Kultur, Sitzung am 28. 6. 1900.
2) Elektrot. Zeitschr. **24**, 589, 1903.
3) Electrical World and Engineer 19. Septbr. 1903.
4) F. Richarz, Wied. Ann. **47**, 579, 1892.

direkt durch das Galvanometer entladen wurde. Mit wachsender Spannung am Kondensator nimmt der Ausschlag zu, ebenso mit wachsender Kondensator-Kapazität bei konstanter Spannung, aber nicht proportional diesen Grössen. Für eine bestimmte Entladungsenergiemenge ist vielmehr der Wirkungsgrad, das Verhältnis des Ausschlags zur Entladungsenergie, ein günstigster. Die Ausschläge hängen ausserdem sehr stark von der Anfangsstromstärke ab.[1]) Da diese nach jeder Entladung sich nur sehr langsam einem konstanten Werte nähert, der wiederum von der Intensität der vorhergehenden Entladungen abhängig ist, will ich von der Mitteilung von Zahlen absehen.

All diese Beobachtungen scheinen mir dafür zu sprechen, dass wir es hier lediglich mit einer Depolarisation der Anode zu thun haben. Hätten wir Bolometerwirkung, so könnte niemals die Zelle gewissermassen als Relais wirken, also der Galvanometerausschlag grösser sein, wenn der Kondensator durch die Zelle, als wenn er direkt durch das Galvanometer entladen wird. Nehmen wir Depolarisation an, so ist also nach den Beobachtungen der Integralwert des Depolarisationsstromes kleiner als der des Polarisationsstromes.

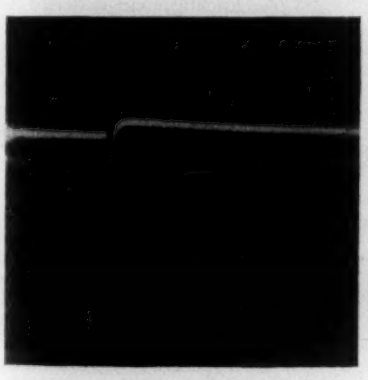


Fig. 1.

In Fig. 1 habe ich den zeitlichen Verlauf des Stromes in der Zelle während einer Kondensatorentladung mit einem Duddellschen Oszillographen aufgenommen. Der Entladungsstromstoss, der sich in der Spitze nach unten markiert, hat zwar eine grössere Amplitude, als der darauf folgende Polarisationsstrom, das Integral des letzteren ist aber offensichtlich grösser als das des ersteren. $a-b$ bezeichnet die Strom-Null-Linie. Aus der Neigung gegen diese sieht man, wie erst ganz allmählich wieder

1) E.T.Z. 19. Novbr. 1903.

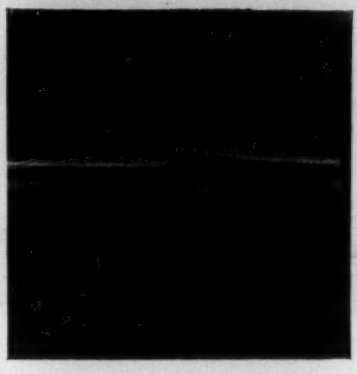


Fig. 2.

der ursprüngliche Polarisationszustand erreicht wird. In Fig. 2 stellt die obere Kurve den Polarisationsstrom der Zelle dar, wenn die Depolarisation durch Wellen geschieht, die von einem Braunschen Geber ausgehen. Die untere Kurve entspricht dem Primärstrom des erregenden Induktoriums. Die Kurvenform des Polarisationsstromes, wie sie hier erscheint, entspricht vollkommen derjenigen eines Stromes, der eine frische Zelle polarisiert.

Vielleicht stehen die Vorgänge im Detektor mit der von Herrn Ruer[1]) untersuchten Erscheinung in Verbindung, dass nämlich bei gleichzeitigem Durchgang von schwachem Gleich- und Wechselstrom durch eine Schwefelsäurezelle mit Platinelektroden etwas Platin der Anode als Platinoxydsalz in Lösung geht, wodurch also Sauerstoff an der Anode verschwindet. Die Polarisation wäre danach nach dem Auftreffen der Welle dem Sauerstoffverlust an der Anode entsprechend schwächer, bis der dadurch stärkere polarisierende Strom den ursprünglichen Zustand wiederhergestellt hat. Herr Ruer fand, dass bei einer bestimmten Wechselstromstärke die aufgelöste Platinmenge für einen bestimmten Gleichstrom den grössten Betrag erreichte. Die Detektorempfindlichkeit besitzt ebenfalls, wie bereits erwähnt, für einen bestimmten Gleichstrom bei bestimmter Wellenintensität ein Maximum.

Die Wirkung des Gleichstromes ist nach Herrn Ruer.[1]) bei der Auflösung des Platins eine rein chemische, eine oxydierende. Das gleiche gilt für den Detektor. Mit Hilfe zweier weiterer Elektroden, von denen sich die eine dicht unterhalb der Anode befand, konnte die Wirkung des Gleichstroms durch Entwickelung von Sauerstoff oder Wasserstoff unter der Anode unterstützt oder geschwächt werden. Bei

1) Zeitschrift f. physik. Chemie **49**, 81, 1903.

schwachem Gleichstrom zeigte sich hierbei die Entwickelung von Sauerstoff günstiger, bei starkem die Entwickelung von Wasserstoff. Bei sehr kräftigen Wellen bewirkt ebenfalls die Entwickelung von Sauerstoff einen besseren „Wirkungsgrad", bei schwächeren die Entwickelung von Wasserstoff. Es lässt sich also auf rein chemischem Wege die für den günstigsten Wirkungsgrad erforderliche Polarisation einregulieren.

Göttingen, Physikalisches Institut, Abteilung für angewandte Elektrizitätslehre.

(Eingegangen 27. Mai 1904.)

REFERATE.

Elektrotechnik.

Besorgt von Prof. Dr. **H. Th. Simon.**

Der schnellwirkende Typendrucktelegraph von Siemens & Halske.

In einer der letzten Sitzungen des Elektrotechnischen Vereins zu Berlin führte Herr Wilhelm von Siemens einen neuen schnellwirkenden Typendrucktelegraphen vor; da derselbe verschiedene interessante physikalische Eigentümlichkeiten aufweist, so dürfte eine kurze Beschreibung derselben wohl am Platze sein.

Der Apparat ist ein automatisch wirkender Telegraph, die Telegraphierströme werden also nicht von Hand direkt in die Leitung geschickt, sondern vermittels eines automatischen Senders. Das Telegramm wird mit Hilfe eines schreibmaschinenähnlichen Apparates in Lochschrift auf einem Papierstreifen niedergeschrieben, wobei gleichzeitig die betreffenden Buchstaben in Druckschrift an den Rand des Streifens behufs Kontrolle des gelochten Textes aufgedruckt werden. Figur 1 zeigt ein Stück eines solchen

Fig. 1.

Senderstreifens; zu jedem Zeichen gehören zwei untereinander befindliche Löcher, die durch ihren gegenseitigen Abstand und ihre Stellung auf dem Streifen die verschiedenen Zeichen bestimmen. Diesen 2 Löchern entsprechend werden vermittels des automatischen Senders und eines von einem Elektromotor angetriebenen rotierenden Systems für jedes Zeichen ein positiver und ein negativer Strom in die Leitung geschickt, die dann am empfangenden Ende den Druck des gewünschten Zeichens verursachen. Da sich mechanische Druckvorrichtungen für solch hohe Geschwindigkeit nicht eignen wurden, es handelt sich um die Übermittelung von 2000 Zeichen pro Minute, so wurde die chemische Wirkung des Lichtes zur Erzeugung der Buchstaben auf photographisch präpariertem Papier benutzt. Zu dem Zwecke sind die Typen in eine Scheibe in Schablonenform, also durchsichtig, eingraviert. Diese Typenscheibe T (Fig. 2) rotiert zwischen dem dicht daran vorbeigeführten photographischen Papierband P und einer kleinen Funkenstrecke F mit einer Geschwindigkeit von 2000 Umdrehungen in der Minute. Sobald nun bei der Rotation der Scheibe das den entsendeten Telegraphierströmen entsprechende Zeichen sich genau zwischen Papier und Funkenstrecke befindet, wird durch lokale Vorgänge der Funke ausgelöst, durchleuchtet die betreffende Type und fixiert deren Bild auf dem photographischen Papierband. Die Zeitdauer des Funkens ist so kurz, dass selbst bei der hohen Winkelgeschwindigkeit der Type dieselbe noch vollständig scharf zum Abdruck gelangt. Da die Typenscheibe mit ca. 34 Umdrehungen pro Sekunde umläuft und jede Type etwa $^1/_{120}$ des Umfanges dieser Scheibe an Raum beansprucht, so ist ersichtlich, dass der Funke innerhalb einer Zeit von $^1/_{120} \cdot {}^1/_{34}$ also rund $^1/_{4000}$ Sekunde eintreten muss. Damit jedoch das Zeichen auch an der richtigen Stelle des Streifens erscheint, darf der Fehler beim Einsetzen des Funkens $^1/_{40000}$ Sekunde nicht überschreiten. Ausser der Erzielung eines so hohen Genauigkeitsgrades war noch die Aufgabe zu lösen, die Funkenerzeugung so zu gestalten, dass die betreffenden Stromschlusskontakte eine derartig hohe Beanspruchung auch auf die Dauer sicher aushielten. Als zweckentsprechend hat sich folgende Einrichtung gut bewährt. Vor Beginn jeder neuen Umdrehung der Typenscheibe wird ein Kon-

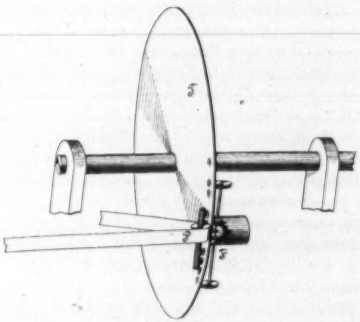


Fig. 2.

densator mit etwa 110 Volt geladen; sobald nun der den Funken auslösende Stromimpuls im Empfänger zustande kommt und die Umwindungen eines Relais, des sogenannten Funkenrelais, durchfliesst, wird die Ankerzunge dieses Relais an den Arbeitskontakt umgelegt und nunmehr entlädt sich der Kondensator über diesen Kontakt und die Primärspule eines kleinen Induktors. Dieser Stromstoss erzeugt sekundär den Funken, welcher dann die gerade in diesem Augenblick zwischen Funkenstrecke und Papier befindliche Type durchleuchtet. Der Stromschluss an den Relaiskontakten geschieht hierbei fast funkenfrei, da im ersten Augenblick die Primärspule als Drosselspule wirkt; bei der Öffnung des Kontaktes entsteht überhaupt kein Funke, da der Kondensator bereits seine Ladung vollständig abgegeben hat. Der Funke wird durch Parallelschaltung einer Leydener Flasche leuchtend gemacht, wobei noch zu beachten ist, dass sowohl der primäre als auch der sekundäre Schwingungskreis des Induktors möglichst frei von Oszillationen sein muss, da sonst die mehrfach auftretenden Funken auch mehrfache Typenbilder erzeugen würden. Der belichtete Streifen läuft alsdann in einem lichtdichten Kasten unter Schwämmen hinweg, die tropfenweise mit dem Entwickler und der Fixierlösung getränkt werden; der gesamte photographische Prozess dauert nur 9 Sekunden. Figur 3 ist eine Reproduktion des Empfangsstreifens in verkleinertem Masstab.

DER SCHNELLWIRKENDE TYPENDRUCK-TELEGRAPH VON SIEMENS UND HALSKE HEFERREICHT

DURCHSCHNITTLICH 2000 ZEICHEN IN EINER MINUTE ÜBER EINEN DRAHT UND IN EINER RICHTUNG.

Fig. 3.

Da sowohl das photographische Papier als auch das Typenrad sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen und bei jeder Umdrehung ein Zeichen auf oben erwähnte Weise gedruckt wird, so sind die Zeitintervalle zwischen dem Druck verschiedener Zeichen ebenfalls verschieden gross; demgemäss würden auch die Abstände zwischen 2 Zeichen ungleich ausfallen. Diesem Übelstande ist dadurch abgeholfen worden, dass die Typen nicht konzentrisch auf einem Kreisbogen angebracht worden sind, sondern auf einer Spirale, und zwar in der Weise, dass die Zeichen sich entgegen der Drehrichtung der Typenscheibe der Peripherie nähern. Fig. 4 giebt schematisch diese Anordnung wieder. Soll beispielsweise *a z* gedruckt werden, so liegen zwischen den beiden Zeichen beinahe zwei volle Umdrehungen der Typenscheibe und auch das Papier ist inzwischen um den Raum von 2 Buchstabenbreiten vorgeschritten; aber der Buchstabe *z* läuft gleichsam auf der Spirale dem Papiere nach und

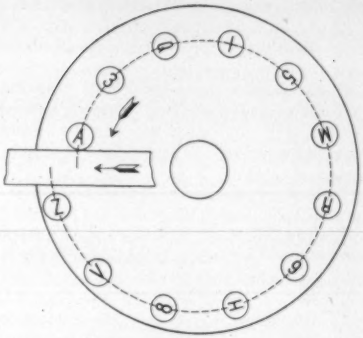


Fig. 4.

erscheint demnach doch auf der richtigen Stelle des Streifens.

Die rechtzeitige Auslösung des Funkens beim Empfänger vermittels der Telegraphierströme wird auf folgende Weise erreicht. Wie bereits eingangs erwähnt, wird jedes Zeichen durch einen positiven und einen negativen Linienstrom gebildet. Während einer Umdrehung des gebenden Apparates werden also für ein Zeichen diese 2 Impulse durch Vermittelung des gelochten Streifens und einer in 12 voneinander isolierte Segmente geteilten Kontaktscheibe in die Leitung geschickt. Die Stromkombinationen ergeben sich derart, dass der positive Linienimpuls auf die Segmente 1 bis 9, der negative auf die Segmente 3 bis 11 jener Scheibe entfallen kann; es sind somit 45 Zeichenkombinationen möglich.

Beim empfangenden Amte, Fig. 5, durchfliessen die ankommenden Ströme das polarisierte Linienrelais und legen dessen Zunge an den linken oder rechten Kontakt.

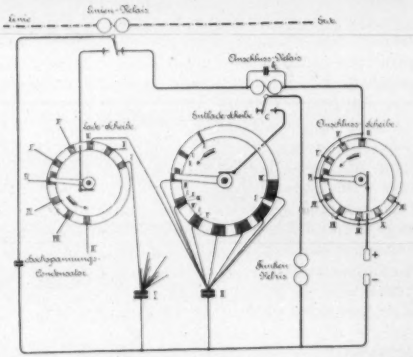


Fig. 5.

Es sind ferner 3 Kontaktscheiben vorhanden, von denen jede ebenfalls, ähnlich der Geberkontaktscheibe, in 12 Segmente zerschnitten zu denken ist. Die über den 3 Scheiben rotierenden Kontaktarme sind auf einer von einem Elektromotor angetriebenen gemeinschaftlichen Welle befestigt, die auch die bereits erwähnte Typenscheibe trägt. An die voneinander isolierten Segmente 1 bis 9 der Ladescheibe ist je ein Kondensator angeschlossen, die sogenannten Gruppenkondensatoren. Sobald nun, Synchronismus zwischen Geber und Empfänger vorausgesetzt, der erste (positive) Linienstrom beispielsweise im dritten Zwölftel der Umdrehung einsetzt, so wird sich der über der Ladescheibe rotierende Arm auf dem Isolationsstück zwischen Segment II und III befinden. Die Zunge des Linienrelais wird an den linken Kontakt umgelegt und bleibt daselbst liegen. Sobald nun der Arm an der Ladescheibe bei seiner Weiterbewegung das Segment III berührt, fliesst ein Strom von einem vorher geladenen Hilfskondensator, dem Hochspannungskondensator, über den linken Relaiskontakt nach dem Kondensator III und lädt denselben. Es wird also dem zeitlichen Eintreffen des positiven Linienstromes entsprechend bei einer Umdrehung einer von den 9 Kondensatoren an der Ladescheibe ausgewählt und mit einer Ladung versehen. Der zweite (negative) Linienstrom, welcher das Zeichen endgültig zu bestimmen hat, bewirkt das Umlegen der Linienrelais-Zunge an den rechten Kontakt. Die Entladescheibe, die ursprünglich ebenfalls in 12 Teile zerschnitten zu denken ist, besitzt, ausser im 12., 1. und 2. Zwölftel, kurze voneinander isolierte Kontaktstücke; die Segmente mit gleicher Zahl sind sämtlich untereinander und mit dem Kondensator gleicher Bezeichnung verbunden. In Fig. 5 sind nur die Verbindungen des Kondensators III eingezeichnet; für die übrigen Kondensatoren sind sie leicht in sinngemässer Weise zu ergänzen. Ist nun beispielsweise der Kondensator III vermittels eines positiven Linienstromes an der Ladescheibe geladen worden, so kann derselbe nunmehr im weiteren Verlauf der Umdrehung diese Ladung an 7 verschiedenen Stellen der Entladescheibe wieder abgeben. Die Entladung kann aber erst dann stattfinden, wenn der Kontakt c des Anschlussrelais geschlossen ist. Die Schliessung dieses Kontaktes wird durch den negativen Linienstrom verursacht, so dass dessen zeitliches Eintreffen genau diejenige Gruppe der Entladescheibe bestimmt, in welcher sich der vermittels des positiven Linienstromes geladene Kondensator wieder entladen soll. Zur Erzielung des richtigen Zeichens muss jedoch der Kontakt c gerade dann geschlossen werden, wenn der Kontaktarm der Entladescheibe sich auf dem isolierten Zwischenstück vor derjenigen Gruppe befindet, in welcher der Kondensator sich entladen soll. Daher wird dieser Kontakt c nicht unmittelbar von dem negativen Linienstrom geschlossen, sondern unter Zuhilfenahme einer dritten Scheibe, der Anschlussscheibe. Diese Scheibe besitzt den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Gruppen der Entladescheibe entsprechend kurze Kontaktsegmente. Tritt nun beispielsweise der negative Telegraphierstrom im 6. Zwölftel der Umdrehung ein, so wird sich der Kontaktarm der Anschlussscheibe zwischen Segment V und VI befinden. Sobald er nunmehr bei seiner Weiterbewegung das Segment VI berührt, kommt ein Stromstoss zustande vom + Pol der Stromquelle, Arm und Segment VI der Anschlussscheibe, Anschlussrelais-Wickelung, rechten Kontakt und Zunge des Linienrelais, zum Hochspannungskondensator und zum —Pol zurück. Dieser Stromstoss versieht den Hochspannungskondensator mit neuer Ladung und schliesst gleichzeitig den Kontakt c, so dass nunmehr der betreffende Gruppenkondensator seine Ladung über diesen Kontakt und das Funkenrelais abgiebt, sobald der über der Entladescheibe rotierende Arm das zugehörige Kontaktstück überstreicht. Dieser kurze Entladungsstrom erzeugt aldann auf die bereits erwähnte Weise mit Hilfe des Funkenrelais den zur Durchleuchtung der Type nötigen Funken. Die Anordnung der Typen auf der Typenscheibe, Fig. 6 (1), entspricht natürlich genau

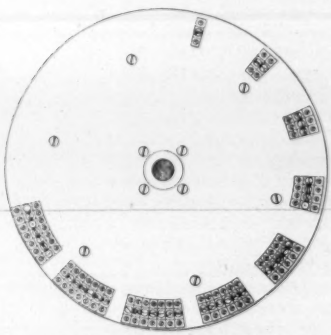


Fig. 6.

der Gruppierung der Kontakte an der Entladescheibe.

Infolge der mehrfachen Anwendung von Kondensatoren bei diesem System ist die Gewähr eines sicheren und schnellen Arbeitens insofern gegeben, als der Kondensator sich in ausserordentlich kurzen Zeiten zu laden und zu entladen vermag; ausserdem besitzt er keine beweglichen, der Abnutzung und steten Wartung

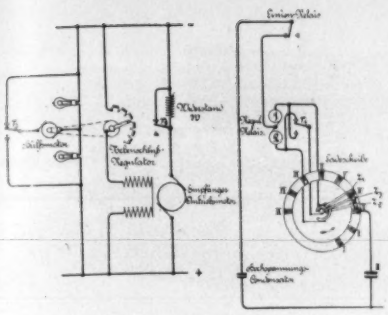


Fig. 7.

unterworfenen Teile. Die Verwendung des Funkens zur Hervorbringung der Zeichen macht komplizierte Mechanismen vollständig überflüssig und sichert dem Apparat eine ausserordentlich hohe Druckgeschwindigkeit.

Da der Empfangsapparat in Synchronismus mit dem Geber umlaufen muss, so ist eine sinnreiche Anordnung getroffen worden, welche selbsttätig sowohl den Gleichlauf herstellt, als auch während des Betriebes aufrecht erhält. Zu dem Zwecke ist die Einrichtung so getroffen, dass über der Ladescheibe nicht nur ein Kontaktarm rotiert, sondern deren 3 (Fig. 7), die um einen geringen Winkelbetrag gegeneinander verstellt sind. Der Stromstoss aus dem Hochspannungskondensator in einen der Gruppenkondensatoren, ausgelöst durch den jeweilig ersten (positiven) Linienimpuls, wird, je nachdem der Empfänger gegenüber dem Geber voreilt oder zurückbleibt, seinen Weg entweder über den Arm z_2 oder z_1 nehmen müssen; hierbei durchfliesst er entweder die Spule 2 oder 1 des polarisierten Regulierungsrelais und legt dessen 3 Zungen r_1 r_2 r_3 gemeinsam entweder an ihre unteren oder oberen Kontakte. An der Relaiszunge r_2 wird nunmehr dem Sinne der Abweichung vom Gleichlauf entsprechend ein kleiner Widerstand w in den Ankerstromkreis des Hauptantriebsmotors ein- oder ausgeschaltet und auf diese Weise kleine Unregelmässigkeiten im Gange der Apparate bei jeder Umdrehung ausgeglichen. Ist der Synchronismus vollkommen, dann sollen die Impulse aus dem Hochspannungskondensator über die mittlere Bürste z_3 fliessen. Infolge der eigenartigen Verbindung dieser Bürste mit der Relaiszunge r_1 und ihren zugehörigen Kontakten wird alsdann erreicht, dass bei jeder Umdrehung des Motors die Relaiszungen r_1 r_2 r_3 einmal umgelegt werden, solange die nach den Gruppenkondensatoren fliessenden Stromimpulse ihren Weg über jene mittlere Bürste nehmen müssen. Demgemäss wird also bei vollkommenem Synchronismus der Widerstand w bei jeder Umdrehung wechselweise entweder ein- oder ausgeschaltet, so dass eine wirksame Regulierung in einem bestimmten Sinne nicht stattfindet. Da der Widerstand w nur verhältnismässig geringe Differenzen auszugleichen vermag, so wurde, um den Apparaten auch einen dauernd synchronen Gang zu sichern, noch folgende Einrichtung getroffen. Die Relaiszunge r_3 schaltet in der aus dem Schema ersichtlichen Weise die Drehrichtung eines kleinen Hilfsmotors um; dieser Motor ist imstande, die Kurbel des Nebenschluss-Regulierwiderstandes nach beiden Richtungen zu verstellen. Da nun aber, wie bereits bemerkt, bei vollkommenem Synchronismus die Relaiszungen r_1 r_2 r_3 bei jeder Umdrehung ihre Stellung einmal wechseln, d. h. also ca. 34 mal pro Sekunde, so zeigt der Hilfsmotor keine ausgesprochene Drehrichtung. Wenn dagegen grössere Abweichungen vom Gleichlauf ein-

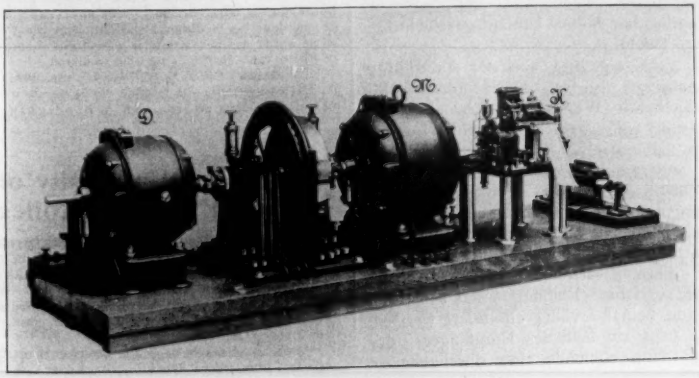


Fig. 8.

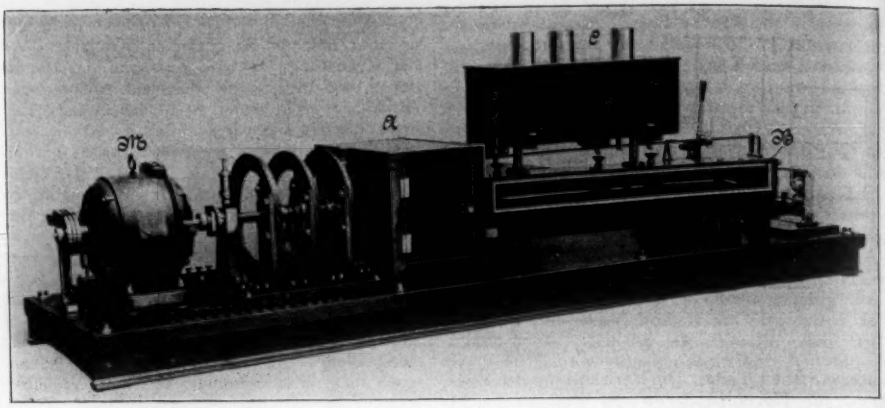


Fig. 9.

treten, wenn also die Impulse aus dem Hochspannungskondensator während mehrerer Umdrehungen den Arm z_1 oder z_2 durchfliessen und demgemäss auch die Relaiszungen r_1 r_2 r_3 längere Zeit an den oberen oder unteren Kontakten liegen bleiben, dann erst wird der Hilfsmotor eine grössere Verstellung des Nebenschlusswiderstandes bewirken und die Geschwindigkeit des Hauptantriebsmotors im entsprechenden Sinne verändern. Durch diese doppelte Art der Regulierung vermittels des momentan bei jeder Umdrehung wirkenden Widerstandes w und des selbstthätigen Nebenschlussreglers, der erst bei grösseren Abweichungen in Thätigkeit tritt, wird unter Vermeidung jedweder Nachregulierung von Hand ein dauernd synchroner Gang der Apparate erzielt. Zum Schluss sei noch bemerkt, dass die relative Winkelstellung des Empfängers höchstens um 23° von der des Gebers abweichen darf, eine recht beachtenswerte Genauigkeit, wenn man die hierbei in Frage kommenden hohen Umlaufsgeschwindigkeiten berücksichtigt.

Fig. 8 giebt ein Bild von der Anordnung des automatischen Senders. Der Motor M treibt eine durchgehende Welle an, welche einerseits den Transport des gelochten Senderstreifens durch die automatische Kontaktvorrichtung K bewirkt, andererseits den über der Geber-Kontaktscheibe rotierenden Kontaktarm trägt und ausserdem an ihrem Ende mit einem Generator D gekuppelt ist. Letzterer soll nur dem Motor M einen gleichmässigen Lauf sichern, da durch diese zusätzliche relativ grosse Belastung die variablen Reibungs- und sonstigen Widerstände beinahe völlig eliminiert werden.

Fig. 9 zeigt ein Bild des Empfängers; der Motor M treibt ebenfalls eine durchgehende Welle an, auf der die über den 3 Scheiben rotierenden Arme befestigt sind. Am Ende der Welle, in der Kammer A befindet sich die Typenscheibe. Die Kästen B und C enthalten die automatische Entwickelungseinrichtung.

Versuche, die von der Firma Siemens & Halske mit diesem neuen System auf mehreren Leitungen der Reichspost angestellt wurden, haben die praktische Verwendbarkeit desselben ergeben. E. Ehrhardt.

(Eingegangen 5. März 1904.)

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Es wurde ernannt: Dr. O. Ashan zum Professor der Chemie in Helsingfors, Soddy zum Professor der physikalischen Chemie in Glasgow.

Ehrungen: Es erhielt den v. Baumgartnerschen Preis der Wiener Akademie Prof. Dr. W. Kaufmann in Bonn. Professor Brühl, Heidelberg, wurde Ehrenmitglied der Royal Institution of Great Britain. Geheimrat van't Hoff wurde Ehrendoktor der medizinischen Fakultät in Utrecht und gleichzeitig wurde das neu errichtete chemische Laboratorium ihm zu Ehren van't Hoff-Laboratorium genannt.

Es starben: Alex. Williamson, em. Prof. der Chemie am University College in London, 80 Jahre alt, und der Direktor der Sternwarte zu Pulkowa F. A. Bredichin, 73 Jahre alt

Gesuche.

The Victoria University of Manchester (Owens College).

A. Harling Research Fellowship in Pure or Applied Physics of the Value of £ 125 is offered. Candidates must give evidence of being able to conduct an independent research, state if possible the nature of the research they intend to pursue, under the direction of the Professor of Physics (Dr. A. Schuster), and give particulars of their previous training and education.

Applications should be sent in not later than 13 June to the Registrar, from whom details of conditions may be obtained.

Für die Redaktion verantwortlich Privatdozent Dr. Emil Bose in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.